



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**EVALUACIÓN DEL DRENAJE PLUVIAL Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE
DRENAJE URBANO SOSTENIBLE (SDUS), EN LOS BARRIOS ALCIDES
MEZA, MILDRED CENTENO Y TRIUNFO DE LA REVOLUCION EN LA CIUDAD
DE CONDEGA, DEPARTAMENTO DE ESTELI.**

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. Jorge Enoc Cárcamo Córdoba

Tutor

Ing. Mario Castellón Zelaya

Asesor

Ing. Juan Leonardo Chow Zúñiga

Managua, Agosto 2017.

Estelí, 21 de julio 2017.

Dr. Ing. Oscar Isaac Gutiérrez Somarriba

Decano Facultad de Tecnología de la Construcción – UNI

Su despacho.

Estimado Doctor Gutiérrez:

En cumplimiento con la normativa de culminación de estudio, le presento el protocolo de monografía para optar al título de Ingeniería Civil cuyo tema es **“EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE DRENAJE PLUVIAL DE LOS BARRIOS ALCIDES MEZA Y MILDRED CENTENO EN LA CIUDAD DE CONDEGA DEPARTAMENTO DE ESTELI.”** para su debida revisión y aprobación. Así mismo propongo como tutor al (Master. Ing.)

Sin más a que referirme, lo saludo, deseándole éxitos en sus funciones.

Atentamente,

Br. Jorge Enoc Cárcamo Córdoba.

jorge.cordoba48@yahoo.com

Tel.27152659

Cel. 89035174

Cc/Archivo

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	3
III. JUSTIFICACIÓN.....	5
IV. OBJETIVOS.....	6
4.1. Objetivo general	6
4.2. Objetivos específicos.....	6
V. MARCO TEÓRICO	7
5.1. Cuenca hidrográfica	7
5.2. Características de una cuenca	7
5.3. Sistema de drenaje en una cuenca hidrográfica.....	9
5.4. Sistemas urbanos de drenaje sostenible	9
5.5. Caudales	10
5.6. Estimación de caudal o aforo	10
5.6.1. Sección de control.....	11
5.6.2. Relación sección-pendiente	11
5.6.3. Relación sección - velocidad.....	11
5.6.4. Relaciones lluvia escurrimiento.....	11
5.6.5. El método Racional.....	13
5.6.6. Método del NRCS	13
5.7. Que son inundaciones y sus causas.....	14
5.8. Soluciones al problema de inundaciones.....	14
5.8.1. Diseño alcantarillas	15
5.8.1.1. Criterios de diseño.....	15

5.8.1.2. Dimensionamiento de las alcantarillas	15
5.8.2. Diseño de cajas.....	16
5.8.2.1. Criterios de diseño.....	17
5.8.2.2. Dimensionamiento de las cajas de concreto	17
5.9. Diseño de drenaje urbano sostenible	17
5.9.1. Acciones concretas para el diseño SUDS.....	19
5.10. Costos de los tipos obras civiles para drenaje.....	20
5.10.1.Costo directo	20
5.10.2.Mano de obra.....	21
5.10.3.Maquinaria y equipo	21
5.10.4.Materiales	21
5.10.5.Herramientas	22
VI. DISEÑO METODOLÓGICO	23
6.1. Macro y micro localización del estudio.....	24
6.2. Tipo de investigación.....	24
6.3. Actividades por objetivos específicos.....	25
6.3.1. Objetivo 1	25
6.3.2. Objetivo 2	27
6.3.3. Objetivo 3	28
6.3.4. Objetivo 4	30
6.4. Análisis y procesamiento de la información	31
6.4.1. Procesamiento y análisis de datos cartográficos	31
6.4.2. Caudales máximos de las microcuencas	31
6.4.3. Datos estadísticos y cálculos	33
6.4.4. Datos hidráulicos y cálculos	33

6.4.5. Caudales, con el método simplificado de huellas máximas.	33
6.4.6. Capacidad de alcantarillas.....	36
6.4.7. Diseño hidráulico.....	36
6.4.8. Formulación	37
VII. Resultados.....	38
7.1. Evaluación de los puntos críticos	38
7.1.1. Encuesta a la población objetivo.....	43
7.1.2. Entrevistas con técnicos de la Alcaldía Municipal.....	44
7.1.3. Descripción de las microcuencas	44
7.1.3.1. Índices morfométricos.....	45
7.1.3.2. La red de drenaje.....	46
7.2. La escorrentía y las inundaciones en la zona baja de ciudad	46
7.3. Caudales máximos de las escorrentías en las microcuencas	50
7.3.1. Microcuenca 3, observación en la alcantarilla Los Pipitos	50
7.3.2. Microcuenca 4, alcantarilla frente al hospital	51
7.3.3. Microcuenca 6, canal Barrio Alcides Meza.....	52
7.4. Capacidad de los sistemas de drenaje	55
7.4.1. Cauce ramal frente a Los Pipitos.....	55
7.4.2. Cauce ramal frente al hospital	56
7.4.3. Cauce principal	58
7.4.4. Canal de desagüe Barrio Alcides Meza	59
7.5. Propuesta	62
7.5.1. Prevención	63
7.5.2. Manejo de suelos y agua.....	64
7.5.3. Drenajes microcuenca 6.....	67

7.5.4. Sistemas de cosecha de agua	75
7.6. Impacto esperado del proyecto	77
7.6.1. Efecto en el balance hídrico las acciones en las partes altas de las microcuencas.	77
7.6.2. Efectos de la cosecha de agua sobre la escorrentía	79
VIII. Conclusiones	81
IX. Recomendaciones	83
X. BIBLIOGRAFIA	84

INDICE DE TABLAS

Tabla No 1: Alcantarillas de cajas de mampostería	16
Tabla No 2: Dimensiones de tubos de concreto.....	16
Tabla No 3: Cajas de concreto.....	17
Tabla No 4: Datos para estimar las curvas IDF de Condega.	33
Tabla No 5. Puntos críticos en la ciudad de Condega.....	39
Tabla No 6. Frecuencias de inundación y uso de agua.....	43
Tabla No 7. Resultados de viviendas, personas y áreas.....	44
Tabla No 8. Índices morfométricos de las microcuencas	45
Tabla No 9. Caudales máximos con diferentes períodos de retorno y tiempo de concentración de 6 microcuencas	47
Tabla No 10. Caudales encontrados según las huellas máximas	52
Tabla No 11. Caudal con huellas máximas en canal Ba. Alcides Meza	53
Tabla No 12. Sección del canal Ba. Alcides Meza	53
Tabla No 13. Caudal con Huelas máximas en 11 calles del microcuenca 6	53
Tabla No 14. Sección de la calzada frente al gimnasio.....	54
Tabla No 15. Capacidad del canal ramal frente a Los Pipitos	55
Tabla No 16. Sección del canal y nivel respecto a las viviendas.....	56
Tabla No 17. Capacidad del canal frente al hospital	56
Tabla No 18. Sección del canal frente al hospital y nivel de la crecida	57
Tabla No 19. Capacidad del canal del cauce principal.....	59
Tabla No 20. Sección del canal de cauce principal	59
Tabla No 21. Resultados del diseño del tramo 1, A-B planta del canal.....	69
Tabla No 22. Sección del tramo 1, A-B en el plano del nuevo canal.....	69

Tabla No 23. Resultados del diseño del tramo 2, B-C plano canal	70
Tabla No 24. Sección del tramo 2, B-C en el plano del nuevo canal.....	71
Tabla No 25. Resultados del diseño del tramo 3 C-D planta canal	72
Tabla No 26. Sección del tramo 3, C-D en el plano del nuevo canal	72
Tabla No 27: Estimado del volumen de almacenamiento por vivienda	75
Tabla No 28: Dimensión de las cisterna para un vivienda según el tipo	76
Tabla No 29. Situación actual de la escorrentía condición sin proyecto.....	78
Tabla No 30. Situación de la escorrentía condición con proyecto.....	79
Tabla No 31: Escorrentía que se atribuye a la superficie de las viviendas.....	79
Tabla No. 32: Presupuesto de obras propuestas.....	82

INDICES DE DIAGRAMAS

Diagrama No. 1 Proceso para el logro del primer objetivo	26
Diagrama No. 2 Proceso para el logro del segundo objetivo.....	27
Diagrama No 3. Proceso para el logro del tercer objetivo	29
Diagrama No 4. Proceso para el logro del cuarto objetivo	30
Diagrama No: 5 Alcantarilla frente al centro Los Pipitos	51
Diagrama No. 6 Alcantarilla frente al Hospital de Condega	51

INDICES DE FIGURAS

Figura No 1. Localización del estudio.....	24
Figura No 2. Sección hidráulica tipo	34
Figura No 3. Detalle de sección tipo.....	34

INDICES DE MAPAS

Mapa No 1. Mapa de Puntos críticos en la ciudad de Condega.....	40
Mapa No 2. Mapa de relieve de la ciudad de Condega y puntos críticos.....	41
Mapa No 3. Mapa topográfico de la ciudad de Condega	42
Mapa No 4. Zonas de riego por inundaciones la ciudad de Condega	48
Mapa No 5. Microcuencas que más afectan la ciudad de Condega.....	61
Mapa No 6. Ubicación de las acciones de un plan para la ciudad de Condega	66

INDICE DE PLANOS

Plano No 1. Vista de Planta del Canal de drenaje.....	68
Plano No 2. Dimensiones de las secciones del canal	73
Plano No 3. Perfil longitudinal del canal	74

I. INTRODUCCIÓN

El presente estudio se desarrolló en la ciudad de Condega, del municipio del mismo nombre, la cual se ubica a 185 km de la capital Managua y tiene aproximadamente 32,370 habitantes, con un régimen de precipitaciones de entre 800 y 900 mm. Se caracteriza como Zona de Trópico Seco. La priorización se debió a las frecuentes inundaciones que afectan las zonas bajas de la ciudad, especialmente aquellas que inciden directamente a los barrios Alcidez Meza, Mildred Centeno y Triunfo de la Revolución.

La población de los 3 barrios mencionados sufre pérdidas económicas y afecciones a la salud por causa de las inundaciones, así mimos instituciones como la Alcaldía Municipal, el MINSA entre otras, incurren en gastos por el apoyo que brindan a las familias afectadas. Esta situación ha conducido a una priorización del problema, por lo que se incorporó en la agenda municipal, desde donde se han realizado gestiones para abordar tal dificultad y encontrar una solución.

Por tanto, el presente estudio busca evaluar los puntos críticos en los barrios seleccionados, analizando información suministrada por la población objetivo, la interpretación de datos cartográficos y estudios hidrológicos, análisis de las obras de drenaje existentes y su capacidad, respecto a los caudales máximos que se han determinado con los estudios hidrológicos recientes.

Esta iniciativa por tanto servirá de guía para la gestión de las aguas pluviales, aportando datos para diseño detallado de obras de mitigación y brindará un panorama de los actores implicados, así como los costos que se tendrían en un proceso de gestión sostenible de las aguas pluviales en la ciudad. No obstante, un enfoque como el presente, podría tener una menor acogida en algunos actores locales acostumbrados a lo tradicional, aunque es seguro que instituciones, como organizaciones ambientalistas y educativas, verían tal iniciativa como una oportunidad.

Finalmente con todas la consideraciones mencionadas, y teniendo en cuenta el contexto hidrológico, las condiciones del relieve y las acciones de mitigación que hasta ahora se han realizado a través de obras hidráulicas, se propuso un sistema de drenaje pluvial sostenible (SDUS), como estrategia para gestionar eficientemente la escorrentía superficial que actualmente afecta la ciudad y especialmente los barrios de las zonas bajas.

II. ANTECEDENTES

Condega, durante toda su historia ha sido afectado por fenómenos climáticos naturales, los cuales han causado daños importantes a la infraestructura y economía, lo que a su vez ha incidido negativamente en el desarrollo socioeconómico de la población. Se describe en la historia reciente al huracán Mitch ocurrido en el año 1998, como el evento meteorológico que causó el mayor daño a la economía e infraestructura, con consecuencias negativas en la salud y educación de toda la población.

Al realizarse un estudio detallado se encontró que el límite del área inundación que abarcó el huracán Mitch, alcanzó al 100% de las viviendas de los barrios objetos del presente estudio.

Actualmente existe un flujo de escorrentía que atraviesa la ciudad de Condega de Norte a Sur hasta desembocar en el río Estelí, el cual se desborda en la temporada de lluvias principalmente cuando se presentan tormentas tropicales, lo que provoca serias afectaciones a las viviendas y cultivos situados en las zonas bajas. Según la Alcaldía Municipal de Condega, en año 2011 unas 500 personas sufrieron por tales inundaciones.

La amenaza de inundación en la parte sureste de la ciudad ha sido minimizada, con la construcción de un dique de gaviones el año 2013, el cual tiene 3 metros de altura y 905 metros de longitud, y está emplazado paralelo al río Pire, lo que reduce la afectación por inundaciones a los pobladores de los barrios colindantes al río y que son objeto del estudio.

No obstante el mencionado dique paralelo al río Pire, genera otra acción de riesgo, ya que las aguas que vienen de la parte norte y más alta de la ciudad, drenan hasta represarse en el dique de contención que separa los barrios del río, provocando inundaciones especialmente el barrio Triunfo de la Revolución, situación que ocurre aún con inviernos normales.

Actualmente, la ciudad de Condega no cuenta con un sistema de alcantarillado pluvial, lo que dificulta el drenaje, por lo que las aguas de la escorrentía superficial son drenadas por las cunetas y calzadas, así como por los cauces naturales existentes en el interior y en la periferia del poblado, los que finalmente conducen las aguas hacia el río Pire. Por la falta de una red de drenaje, unos 1,500 habitantes de los barrios de la parte sur de la ciudad, son afectados anualmente por inundaciones frecuentes; sufriendo como consecuencia los efectos negativos en la salud, educación, transporte y la economía en general.

III. JUSTIFICACIÓN

Las inundaciones frecuentes en el sector de los barrios Alcides Meza, Mildred Meza y Triunfo de la Revolución, ubicados en la zona baja al sur de la ciudad de Condega, que son colindantes al río Pire, deben mitigarse con urgencia, debido al impacto negativo que generan en la salud y educación de la población; en las vías comunicación, así como en la economía de las familias afectadas y en las arcas municipales.

Por tanto, el diseño de un sistema de drenaje pluvial eficiente, basado en los caudales máximos de las escorrentías y un enfoque de drenaje urbano sostenible, será indispensable para reducir la frecuencia de inundaciones en los barrios afectados.

Esta acción el diseño en el corto plazo facilitará la gestión de los recursos financieros para el proyecto de drenaje y su posterior la ejecución. No obstante las actividades no estructurales como la educación ambiental, limpieza de cauces y cosecha de agua podrían iniciarse, una vez concluido el diseño, debido a que las mismas no requieren grandes inversiones.

En el mediano y largo plazo, el diseño aquí presentado y su implementación, incidirá en la reducción del riesgo de las inundaciones, por lo que se favorecerá directamente la salud individual y comunitaria; así como la economía familiar y municipal.

En este contexto, el diseño de un sistema de drenaje pluvial sostenible para la ciudad, con énfasis en los barrios Alcides Meza, Mildred Centeno y Triunfo de la Revolución, es un conjunto de soluciones estructurales y no estructurales, enfocadas a la reducción de caudales máximos por medio de la cosecha de agua y un menor volumen de agua represada en el dique de contención paralelo al río Pire, así como el drenaje adecuado de dichas aguas hasta el río Estelí.

.

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Contribuir al mejoramiento del drenaje pluvial con enfoque de sistemas urbanos de drenaje sostenibles (SUDS), en los barrios de los Barrios Alcides Meza, Mildred Centeno y Triunfo de la Revolución de la ciudad de Condega.

4.2. Objetivos específicos

1. Evaluar los puntos críticos de inundaciones en base a la información proporcionada por la población, la Alcaldía Municipal y la interpretación cartográfica para localizar los sitios con mayor riesgo.
2. Determinar los caudales máximos que drenan hacia los puntos críticos mediante la interpretación de datos hidrológicos recientes y por la medición de caudales basado en las huellas máximas de las crecidas.
3. Diseñar un sistema de drenaje pluvial urbano sostenible (SDUS) con la capacidad necesaria para evacuar los caudales máximos de la esorrentía, gestionando además la calidad de las aguas y favoreciendo la infiltración.
4. Calcular los costos de las obras tanto estructurales como no estructurales propuestas como parte de la gestión del sistema de drenaje urbano sostenible (SDUS).

V. MARCO TEÓRICO

5.1. Cuenca hidrográfica

Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida. La definición anterior se refiere a una cuenca superficial; asociada a cada una de éstas existe también una cuenca subterránea, cuya forma en planta es semejante a la superficial (Aparicio, 1992).

Según Franquet (2005), la cuenca hidrográfica se define como una unidad territorial en la cual el agua que cae por precipitación se reúne y escurre a un punto común o que fluye toda al mismo río, lago, o mar. En esta área viven seres humanos, animales y plantas, todos ellos relacionados. También se define como una unidad fisiográfica conformada por la reunión de un sistema de cursos de ríos de agua definidos por el relieve.

5.2. Características de una cuenca

La precipitación como parte del ciclo hidrológico en una cuenca, es el estímulo al que la cuenca responde mediante el escurrimiento en su salida. Entre el estímulo y la respuesta ocurren varios fenómenos que son condicionados por las características geomorfológicas de la cuenca y por los procesos de urbanización.

Considerando las características geomorfológicas se tienen aspectos que condicionan el volumen de escurrimiento, como el área de la cuenca y el tipo de suelo; y aspectos que afectan la velocidad de respuesta, tales como el orden de corrientes, la pendiente de la cuenca y los cauces entre otros.

A continuación se describen las características de mayor importancia de las cuencas y los cauces, por sus efectos en la relación precipitación-escurrimiento (Aparicio, 1992).

El parte aguas, es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas.

El área de la cuenca, se define como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por el parteaguas.

La corriente principal de una cuenca, es la corriente que pasa por la salida de la misma. Las demás corrientes de una cuenca exorreica se denominan corrientes tributarias. A las cuencas correspondientes a las corrientes tributarias se llaman cuencas tributarias o sub cuencas.

Entre más corrientes tributarias tenga una cuenca, más rápida será su respuesta a la precipitación. Por ello, se han propuesto un cierto número de indicadores de dicho grado de bifurcación, algunos de los cuales son los siguientes:

El orden de corrientes: una corriente de orden 1, es un tributario sin ramificaciones, una de orden 2, tiene sólo tributarios de primer orden, etc. Dos corrientes de orden 1, forman una de orden 2, dos corrientes de orden 3, forman una de orden 4, etc. Por tanto, el orden de una cuenca, es el mismo que el de la corriente principal en su salida.

Otros indicadores del grado de bifurcación o eficiencia de una cuenca son la densidad de corrientes " D_s ", definida como el número de corrientes perennes e intermitentes por unidad de área y la densidad de drenaje " D_d ", definida como la longitud de las corrientes por unidad de área.

Uno de los indicadores más importantes del nivel de respuesta de una cuenca a una tormenta es la pendiente del cauce principal. Dado que la pendiente varía a lo largo del cauce, es necesario definir una pendiente media; para ello existen varios métodos, de los cuales se mencionan tres:

- a. La pendiente media es igual al desnivel entre los extremos de la corriente dividido entre su longitud medida en planta.
- b. La pendiente media, es la de una línea recta imaginaria, la cual se proyecta desde un extremo aguas abajo de la corriente, y que genera dos áreas iguales aguas arriba y aguas abajo entre la línea imaginaria y el perfil natural del cauce.

- c. Taylor y Schwarz citado por Aparicio (1992), proponen calcular la pendiente media como la de un canal de sección transversal uniforme que tenga la misma longitud y tiempo de recorrido que la corriente en cuestión.

5.3. Sistema de drenaje en una cuenca hidrográfica

Conociendo que la cuenca hidrográfica es la unidad territorial, con características geomorfológicas específicas, en la que el agua de la precipitación fluye a un punto común (Franquet, 2005), el sistema de drenaje se relaciona con la cuenca, según el grado de bifurcación de sus corrientes; por tanto mientras más afluentes tenga la cuenca hidrográfica, más rápida será su respuesta a la precipitación. De tal forma, que el tipo y distribución de los cauces naturales es una característica importante de toda cuenca de drenaje (Aparicio Mijares, 1992).

La eficiencia del sistema de drenaje depende de las características del hidrograma, por ejemplo, si la cuenca está bien drenada, muy bifurcada, la longitud y duración del flujo sobre tierra son cortas, el escurrimiento superficial se concentra rápidamente, los picos de avenidas son altos, y con toda probabilidad, el caudal mínimo es consecuentemente bajo.

Otro factor importante en el drenaje es la naturaleza del suelo y las condiciones de la superficie de la cuenca donde ocurre el proceso de erosión. Con la finalidad de determinar las características del sistema o red de drenaje, se definen los índices tales como el grado de ramificación y densidad de drenaje.

5.4. Sistemas urbanos de drenaje sostenible

Uno de los problemas que más preocupa a nuestra sociedad en estos momentos es la disponibilidad de agua potable y la degradación de los ecosistemas. En los últimos años se reconocieron los múltiples beneficios derivados de afrontar la gestión del agua lluvia desde una perspectiva alternativa a la convencional, orientado hacia un desarrollo sostenible. De este modo emergen con fuerza los Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles (SUDS), también conocidas como BMP's (Best Management Practices), cuya filosofía consiste en reproducir, de la manera más fiel posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o

actuación humana. Su objetivo es mitigar tanto los problemas de cantidad como de calidad de las escorrentías urbanas, minimizando los impactos del desarrollo urbanístico y maximizando la integración paisajística y los valores sociales y ambientales de las actuaciones programadas (Molina M.P y otros, 2011).

5.5. Caudales

El caudal o gasto se define como el volumen de escurrimiento por unidad de tiempo (Aparicio, 1992). La unidad básica de flujo en los países con sistema métrico es metros cúbicos por segundo (m^3/s). También se utilizan unidades menos comunes como metro cúbico por segundo por kilómetro cuadrado, o pies cúbico por segundo por milla cuadrada. Los metros cúbicos por segundo por kilómetro cuadrado, son unidades convenientes para comparar casos de flujos en ríos con áreas tributarias diferentes (Linsley y Kohler, 1977).

Por otra parte el caudal de crecida según la Universidad Tecnológica de Pereira UTP (2010), corresponde al caudal máximo registrado (o esperado) en un aprovechamiento; este valor es de especial interés para el diseño de las obras civiles (azud, canal de conducción, vertederos, etc.) pues éstas deben estar en capacidad estructural de soportar estos caudales de crecida. La característica estacional de las afluencias permite determinar un periodo de retorno asociado, con el cual se diseñan las obras de desvío y captación.

Según Linsley y Kohler (1984), el caudal medio diario es la tasa de descarga promedio en metros cúbicos por segundo o pies cúbicos por segundo, para el período comprendido entre la media noche hasta la media noche siguiente. En ríos grandes el caudal máximo instantáneo puede ser apenas algo mayor que el máximo caudal medio diario, no obstante en corrientes pequeñas el caudal máximo instantáneo es muchísimo más grande que el mayor caudal medio diario.

5.6. Estimación de caudal o aforo

Aforar una corriente significa determinar a través de mediciones el gasto que pasa por una sección dada. En México según Aparicio (1992), se usan básicamente tres

tipos de métodos para aforar corrientes, a saber: (a) Secciones de control, (b) Relación sección-pendiente y (c) Relación sección-velocidad.

5.6.1. Sección de control

Una sección de control de una corriente se define como aquella en la que existe una relación única entre el tirante y el gasto. De los muchos tipos de secciones de control que se pueden usar para aforar una corriente, los más comunes son los que producen un tirante crítico y los vertedores.

5.6.2. Relación sección-pendiente

Este método se utiliza para estimar el gasto máximo que se presentó durante una avenida reciente en un río donde no se cuenta con ningún otro tipo de aforos. Para su aplicación se requiere solamente contar con topografía de un tramo del cauce y las marcas del nivel máximo del agua durante el paso de la avenida, para estimar.

5.6.3. Relación sección - velocidad

Este es el método más usado en México para aforar corrientes. Consiste básicamente en medir la velocidad (con un molinete o correntómetro) en varios puntos de la sección transversal y después calcular el gasto por medio de la ecuación de continuidad.

Para determinar el gasto no es suficiente medir la velocidad en un solo punto, sino que es necesario dividir la sección transversal del cauce en varias sub-secciones llamadas dovelas, luego el gasto se determina con la ecuación de continuidad.

5.6.4. Relaciones lluvia escurrimiento

Es sumamente común que no se cuente con registros adecuados de escurrimiento en el sitio de interés para determinar los parámetros necesarios para el diseño y operación de obras hidráulicas. En general, los registros de precipitación son más abundantes que los de escurrimiento y, además éstos, no se afectan por cambios en la cuenca, como construcción de obras de almacenamiento y derivación, talas, urbanización, etc. Por ello, es conveniente contar con métodos que permitan

determinar el escurrimiento en una cuenca, mediante las características de la misma y la precipitación. Las características de la cuenca se conocen por medio de planos topográficos y de uso de suelo, y la precipitación a través de mediciones directas en el caso de predicción de avenidas frecuentes.

De acuerdo con Aparicio (1992), los principales parámetros que intervienen en el proceso de conversión de lluvia a escurrimiento son los siguientes: (1) área de la cuenca, (2) altura total de precipitación, (3) Características generales o promedio de la cuenca como forma, pendiente, vegetación, etc., (4) distribución de la lluvia en el tiempo, (5) distribución en el espacio de la lluvia y de las características de la cuenca.

También al proceso de relacionar la precipitación con la esorrentía se le conoce como estudios hidrológicos en una cuenca. Según PAST-DANIDA (2004), los estudios hidrológicos permiten determinar el caudal de diseño de la estructura, el cual está en correspondencia con el tamaño y característica de la cuenca, su cubierta de suelo y la tormenta de diseño.

En la Guía para el Diseño de Obras de Drenaje en caminos Rurales de PAST-DANIDA, para la República de Nicaragua en el Programa de Apoyo al Sector Transporte, se distinguen métodos hidrológicos para cuencas pequeñas menores de 300 ha y cuencas medianas mayores de 300 ha; para la primera se recomienda el método racional y para la segunda el método desarrollado por *Natural Resources Conservation Services* (NRCS) de Estados Unidos de América, que se basa en el Hidrograma Unitario Triangular (HUT).

Aparicio (1994), por su parte menciona también a los métodos envolventes, los cuales toman en cuenta para la estimación de caudales solamente la superficie de la cuenca, y afirma que aunque no son precisos, con ellos se tiene una idea del escurrimiento en una cuenca. Dichos métodos utilizan principalmente la fórmula de Creager y Lowry.

También, cita el autor que la formula Racional es el método más usado en México, el cual considera el área de la cuenca, el coeficiente de escurrimiento y la intensidad de la lluvia.

Este autor además expresa, que el método del hidrograma unitario toma en cuenta el efecto de la forma de la cuenca en los resultados, considerando, además de la altura total de precipitación y el área de la cuenca, su forma, pendiente, vegetación, etc., aunque no de forma explícita.

El hidrograma unitario, se define como el hidrograma de escurrimiento directo que se produce por una lluvia efectiva o en exceso, de lámina unitaria, de siesta duración y repartida uniformemente en la cuenca. El método del hidrograma unitario fue desarrollado originalmente por Sherman en 1932.

5.6.5. El método Racional

Este método fue presentado por Emil Kuichling en 1889 y mejorado posteriormente por otros, en dicho método se asume que el caudal máximo para un punto dado se alcanza cuando todas las partes del área tributaria están contribuyendo con su escorrentía superficial durante un periodo de precipitación máxima. Para lograr esto, la tormenta máxima debe prolongarse durante un periodo igual o mayor que el que necesita la gota de agua más lejana hasta llegar al punto considerado o el tiempo de concentración, (PAS-DANIDA, 2004).

5.6.6. Método del NRCS

Expresa el manual de PAST-DANIDA, que la estimación del caudal para cuencas medianas requiere de modelos hidrológicos un poco más complejos, en los cuales se simula el proceso de la formación de las crecidas que pasa por la determinación de la lluvia de diseño, separación de la escorrentía, es decir el agua que escurre superficialmente de la lluvia total y a partir de la lámina de agua la transformación en hidrogramas. Este proceso requiere de la combinación de varios métodos que en su mayoría han sido desarrollados por el *Natural Resources Conservation Services* (NRCS) antes USSCS.

A continuación se describen los postulados del Hidrograma Unitario Triangular (HUT).

Postulado I. Los hidrogramas generados por las tormentas de lluvias de la misma duración tienen el mismo tiempo de base, independiente de la intensidad de la lluvia.

Postulado II. En una cuenca dada los caudales son proporcionales a la altura de la precipitación efectiva para todas las lluvias de la misma duración.

Postulado III. Los caudales producidos por las lluvias sucesivas pueden ser encontrados por la adición sucesiva de los caudales producidos por las lluvias individuales, tomando en cuenta los tiempos de ocurrencia.

5.7. Que son inundaciones y sus causas

Las inundaciones pueden definirse como la ocupación por el agua de zonas o áreas que en condiciones normales se encuentran secas. Se producen debido al efecto del ascenso temporal del nivel del río, lago u otro. En cierta medida, las inundaciones pueden ser eventos controlables por el hombre, dependiendo del uso de la tierra cercana a los causes de los ríos.

Las inundaciones se producen principalmente por la ocurrencia de lluvias intensas prolongadas, como sucede durante las tormentas tropicales y el paso de huracanes, unido a dificultades locales en el drenaje provocado por diferentes causas, principalmente por la acción negligente de las personas.

5.8. Soluciones al problema de inundaciones

Las soluciones hidráulicas son una parte fundamental de la gestión de sistemas urbanos de drenaje sostenible, los cuales deben complementarse con acciones no estructurales tales como: la educación ambiental de la población, la limpieza de las áreas urbanas, la reducción de caudales mediante captaciones de agua entre otras acciones (Abellán, 2016).

5.8.1. Diseño alcantarillas

La Guía Hidráulica para el diseño de estructuras de drenaje en caminos rurales PAST-DANIDA (2004), establece que una alcantarilla es un conducto hidráulicamente corto que sirve para proveer las facilidades necesarias para el paso de las aguas de magnitudes menores de un lado al otro de la vía, manteniendo, en lo posible, las condiciones naturales del drenaje. Hidráulicamente, las alcantarillas se definen como conductos cerrados, ya que pueden operar con una línea de carga de la corriente de agua por encima de su corona y, por consiguiente, trabajar a presión. Si no opera a caudal lleno es considerada como un canal a superficie libre.

5.8.1.1. Criterios de diseño

Se recomienda un caudal de diseño para cuencas pequeñas menores de 300 ha, estimado con el Método Racional, con período de retorno de 15 años. La carga hidráulica máxima de la alcantarilla para determinar el caudal que puede evacuar la estructura, se considera el nivel del agua al borde del muro del cabezal; se debe procurar un mínimo de 40 cm arriba la rasante del nivel del agua. Por razones de mantenimiento, el diámetro mínimo debe ser de unos 76 cm (PAST-DANIDA).

5.8.1.2. Dimensionamiento de las alcantarillas

De acuerdo con la *Federal Highway Administration* (FHWA) en el “*Hydraulic Design N°5, Hydraulic Design of Highway Culverts*”, citado por PAST-DANIDA (2004), la determinación del caudal por el control de entrada a la alcantarilla, está dado por la relación de la profundidad de la carga de entrada y el diámetro de la tubería, cuyo valor es igual a la relación del caudal de diseño entre el área de la sección llena tubería y la raíz cuadrada del diámetro de la misma, lo que se describe en expresión, $H_e/D = K[Q/AD^{0.5}]^M$, la cual es afectada por las constantes K y M, cuyos valores dependen del tipo de alcantarilla y la forma de los aletones de entrada (tabla No 1 y tabla No 2); la FHWA3 elaboró valores para estas constantes.

Tabla No 1: Alcantarillas de cajas de mampostería

Dimensiones de cajas de Mampostería	D	Carga	He	He/D	Q	Q
	m	m	m		m ³ /s/m	m ³ /s
1 caja de 1.5 m x 1.5 m	1.5	0.45	1.95	1.30	3.75	5.625
1 caja de 2 m x 2 m	2.0	0.45	2.45	1.23	5.45	10.90

Fuente: La Guía Hidráulica para el diseño de estructuras de drenaje en caminos rurales PAST-DANIDA.

Tabla No 2: Dimensiones de tubos de concreto

Dimensiones de tubos de concreto	D	Carga	He	He/D	Q
	m	m	m		m ³ /s
1 tubo de 60 pulg de diámetro	1.524	0.45	1.97	1.30	4.95
1 tubo de 72 pulg de diámetro	1.82	0.45	2.27	1.25	8.25

Fuente: La Guía Hidráulica para el diseño de estructuras de drenaje en caminos rurales PAST-DANIDA.

5.8.2. Diseño de cajas

La Guía Hidráulica para el diseño de estructuras de drenaje en caminos rurales PAST-DANIDA, menciona que las cajas son estructuras que cubren un amplio rango de desempeño, pueden evacuar flujos menores o son destinadas a evacuar caudales importantes originados en cuencas medianas. Las características generales de las cajas, así como las recomendaciones para su diseño e instalación son semejantes a las de las alcantarillas.

5.8.2.1. Criterios de diseño

Para determinar el caudal de diseño se puede usar el Método Racional o el de la NRCS, de según sea una cuenca pequeña o mediana. La probabilidad de diseño debe ser para un período de retorno de 15 años para cuencas pequeñas y para cuencas medianas debe ser de 25 años. La carga hidráulica máxima de la caja para determinar el caudal que puede evacuar la estructura, se considera el nivel del agua al borde del muro del cabezal; se debe procurar un mínimo de 40 cm. arriba la rasante del nivel del agua.

5.8.2.2. Dimensionamiento de las cajas de concreto

El cálculo se realiza por medio de nomogramas elaborados por la FHWA para cajas de concreto y el desarrollado para el uso de la Guía para cajas de mampostería (PAST- DANIDA). El cuadro siguiente es una herramienta para dimensionar las cajas, lo que se logra al hacer coincidir la capacidad de la caja con el caudal de diseño, lo cual se logra usando uno o más cajas paralelas según sea su capacidad con relación al caudal de diseño.

Tabla No 3: Cajas de concreto

Dimensión de cajas	D	Carga	He	He/D	Q	Q
	m	m	m		m ³ /s/m	m ³ /s
1 caja de concreto de 2 x 2 mts	2.0	0.45	2.45	1.23	6	12
1 caja de concreto de 2.25 x 2.25 mts	2.25	0.45	2.7	1.20	6.9	15.525

Fuente: La Guía Hidráulica para el diseño de estructuras de drenaje en caminos rurales PAST-DANIDA.

5.9. Diseño de drenaje urbano sostenible

Según Joseba Rodríguez Bayon y otros (2016), los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) se encuentran dentro de las nuevas estrategias empleadas para mejorar el funcionamiento y desarrollo urbano sostenible de las ciudades. El crecimiento urbanístico ha generado un aumento de las superficies impermeables

en el entorno de las ciudades, lo cual genera y acrecienta los problemas relacionados con el drenaje y la gestión del agua pluvial.

Los autores afirman, que las inundaciones se producen por el criterio de diseño tradicional de evacuar el agua caída en las superficies impermeables de nuestras ciudades lo antes posible. No obstante los sistemas convencionales de gestión de las aguas pluviales fallan, a causa de un diseño inferior al requerido para el volumen generado, o por la falta de mantenimiento, aspectos que generalmente no se toman en cuenta en el enfoque de tradicional.

Otra de las consecuencias que sufre el medio como fruto de la impermeabilización de los entornos urbanos, es la pérdida de calidad de las aguas de lluvia y su vertido, muchas veces descontrolado y deslocalizado, genera la conocida contaminación difusa.

Así, se va perdiendo calidad en las aguas a medida que se va recorriendo el camino descrito por los sistemas de drenaje tradicional, esto hace que el agua casi limpia de lluvia se convierta en agua contaminada.

La desnaturalización e impermeabilización de las superficies hace que el ciclo natural del agua se vea alterado de una forma muy importante, convirtiendo a las ciudades en zonas cuasi-desérticas. Se pierde riqueza visual, se impide la recarga de acuíferos, que sirven de reserva de agua para el consumo humano, y se genera el efecto isla de calor, que hace que las temperaturas en verano se incrementen en el interior de la ciudad, efectos que suponen un contra-servicio para los ciudadanos.

Todos estos inconvenientes repercuten a nivel medioambiental, económico y social, por lo que es necesario tomar medidas innovadoras para paliar los problemas asociados a la gestión del agua de lluvia en las ciudades.

Con estas consideraciones en la cumbre de Río de 1992, "Informe Brundtland (1987)", se plantea un nuevo enfoque en el diseño del drenaje urbano. El desarrollo sostenible tiene como fundamento el considerar para el desarrollo los

aspectos económicos, sociales y medioambientales, de forma que los tres puedan coexistir simultáneamente.

Por tanto, se plantea para el diseño de las ciudades desde el punto de vista del drenaje, el triángulo de la sostenibilidad en el drenaje urbano, el cual consistente en un equilibrio del diseño los aspectos relacionados con la cantidad de agua, su calidad y el servicio que ofrece a la sociedad.

5.9.1. Acciones concretas para el diseño SUDS

Se propone la siguiente clasificación para los sistemas urbano de drenaje sostenible SUDS:

1. Medidas preventivas

- Legislación.
- Educación.
- Programación económica.

2. Sistemas de infiltración o control en origen

- Superficies permeables
- Pozos y zanjas de infiltración
- Depósitos de infiltración

3. Sistemas de transporte permeable

- Drenes filtrantes o drenes franceses
- Cunetas verdes
- Franjas filtrantes

4. Sistemas de tratamiento pasivo

- Depósitos de detención
- Estanques de retención
- Humedales artificiales

Con el uso de SUDS se revaloriza el entorno urbano como consecuencia de la posibilidad de recuperar zonas de frágil equilibrio, como son las que tienen un déficit en recursos hídricos por la sobreexplotación que sufren, mediante la valorización de las aguas de lluvia en la recuperación de acuíferos y humedales en vías de desaparición.

Los SUDS no implican la eliminación de los sistemas de drenaje tradicionales, pueden ser un complemento y nunca una competencia para estos sistemas. Los SUDS son sistemas que funcionan en cadena, por esta razón, es necesario integrar el diseño urbano en su globalidad para dar una respuesta correcta a todo el conjunto.

5.10. Costos de los tipos obras civiles para drenaje

El presupuesto es la resultante de sumar los cinco elementos que componen el cálculo del costo estimado de la obra y que son: Costo Directo (CD) + Costo Indirecto (CI) + Costo de Administración Central (CAC) + Utilidad (U) + Impuestos (I).

5.10.1. Costo directo

Son los costos previstos en que se debe incurrir directamente para utilizar o adquirir e integrar los recursos necesarios, en la cantidad o en el tiempo que sean necesarios, para realizar una actividad de construcción, mantenimiento o reparación de un tramo o sub-tramo de carretera o camino de la red vial del país en un plazo establecido.

El Costo Directo (CD) que se calcula para cada concepto de obra, se divide entre su respectiva cantidad de obra estimada (COE) con su unidad de medida para obtener el Costo Unitario Directo (CUD) para cada concepto. Los recursos o componentes de cada Costo Unitario Directo (CUD) pueden ser de cuatro tipos: Maquinaria o Equipos, Mano de Obra, Materiales y Herramientas.

5.10.2. Mano de obra

Es el costo previsto por el tipo y la cantidad de trabajadores de la construcción que se planifica y que deberán ser empleados temporalmente para la ejecución de una actividad o de un concepto de obra en el período de tiempo que sean requeridos. Como ejemplos clásicos de Mano de Obra en la construcción de Obras Horizontales, se pueden considerar: la construcción de obras de drenaje transversal y longitudinal, construcción de obra gris en proyectos de adoquinado, etc., en estos casos, la legislación laboral vigente en el país, define la participación de Mano de Obra de la siguiente manera.

5.10.3. Maquinaria y equipo

Maquinaria o Equipos: es el costo previsto por el tipo y la cantidad de maquinaria o de equipos de construcción que deben ser utilizados en la ejecución de una actividad o de un concepto de obra en el período de tiempo que sea requerido. Cada costo de maquinaria o equipo se obtiene multiplicando su respectiva Renta Horaria por su tiempo requerido; siendo dicho tiempo el resultado de dividir la cantidad de obra estimada (COE) del concepto entre el Rendimiento Horario escogido del equipo, que depende de la operatividad esperada del mismo.

5.10.4. Materiales

Es el costo previsto por la adquisición, traslado y utilización del tipo y la cantidad de materiales de construcción que deben ser incorporados en la ejecución de una actividad o de un concepto de obra. Cada costo de materiales se obtiene multiplicando su respectivo costo de adquisición más traslado por su cantidad requerida; siendo dicha cantidad el resultado de multiplicar la cantidad de obra estimada (COE) del concepto por el aporte establecido para ese tipo de material. El aporte establecido es la proporción (dosificación) estimada que se sugiere deba ser utilizado ese material para conformar la obra especificada.

5.10.5. Herramientas

Es el costo previsto por el tipo y la cantidad de herramientas de construcción que deben ser utilizadas para la ejecución de una actividad o de un concepto de obra. Cada costo de herramientas se obtiene multiplicando su respectivo costo de adquisición por su cantidad requerida; siendo dicho cantidad el resultado de multiplicar la cantidad de obra estimada (COE) del concepto por la utilidad establecida para ese tipo de herramienta. La utilidad establecida es la cantidad estimada que se sugiere deba ser usada esa herramienta para realizar la actividad o concepto.

VI. DISEÑO METODOLÓGICO

Este capítulo describe la metodología que se implementó para alcanzar los objetivos del presente estudio. Se utilizaron como fuentes secundarias los datos raster de ASTER GDEM, del Ministerio de Economía, Industria y Comercio de Japón, a partir de los cuales se creó toda la cartografía y los vectores geométricos necesarios para calcular los escurrimientos superficiales en las microcuencas en estudio.

Además se utilizaron fuentes primarias de datos, empleando métodos cuantitativos y cualitativos para la ubicación de los puntos críticos con GPS, así como para la información de los niveles máximos de las crecidas en los drenajes naturales o en obras de drenaje presentes en la zona de estudio, lo cual se hizo mediante entrevistas con pobladores y técnicos municipales.

También se midieron las pendientes longitudes y se calcularon las secciones de los drenajes naturales y obras de drenaje construidas en el sitio, la cuales se georreferenciaron para presentarlos y analizarlos en mapas y planos. Tales datos sirvieron para los cálculos de caudales máximos mediante el método relación pendiente - caudal.

Los resultados de los dos primeros objetivos fueron de carácter evaluativo, mientras que el tercero es una propuesta para el mejoramiento del sistema de drenaje de los barrios estudiados. Dicha propuesta se basó en los resultados evaluativos de los dos primeros objetivos. El diseño de la propuesta de drenaje se realizó con el enfoque de sistemas de drenaje urbano sostenible (SDUS).

Por otra parte el último objetivo plasma los requerimientos financieros para implementar las propuestas de mejoramiento del drenaje pluvial en su conjunto.

6.1. Macro y micro localización del estudio

La ciudad de Condega se encuentra a 185 km de la ciudad capital Managua. Sus coordenadas WGS 84 proyección UTM son:

Zona 16 P, Este: 568305, Norte: 1480426 y Este: 561237, Norte: 1474927.

Altura promedio: 550 msnm

Figura No 1. Localización del estudio



6.2. Tipo de investigación

El estudio fue del tipo descriptivo porque se enfocó en el análisis detallado de los procesos de escorrentía que afectan la ciudad y particularmente a los barrios

estudiados, para ello se hizo referencia a factores hidrológicos y el relieve, así como en las obras de drenaje existentes. También fue un estudio de campo porque se desarrolló en el lugar de los hechos, donde se aplicaron métodos como la observación, medición y la entrevista, incluyendo una encuesta para obtener la información primaria.

6.3. Actividades por objetivos específicos

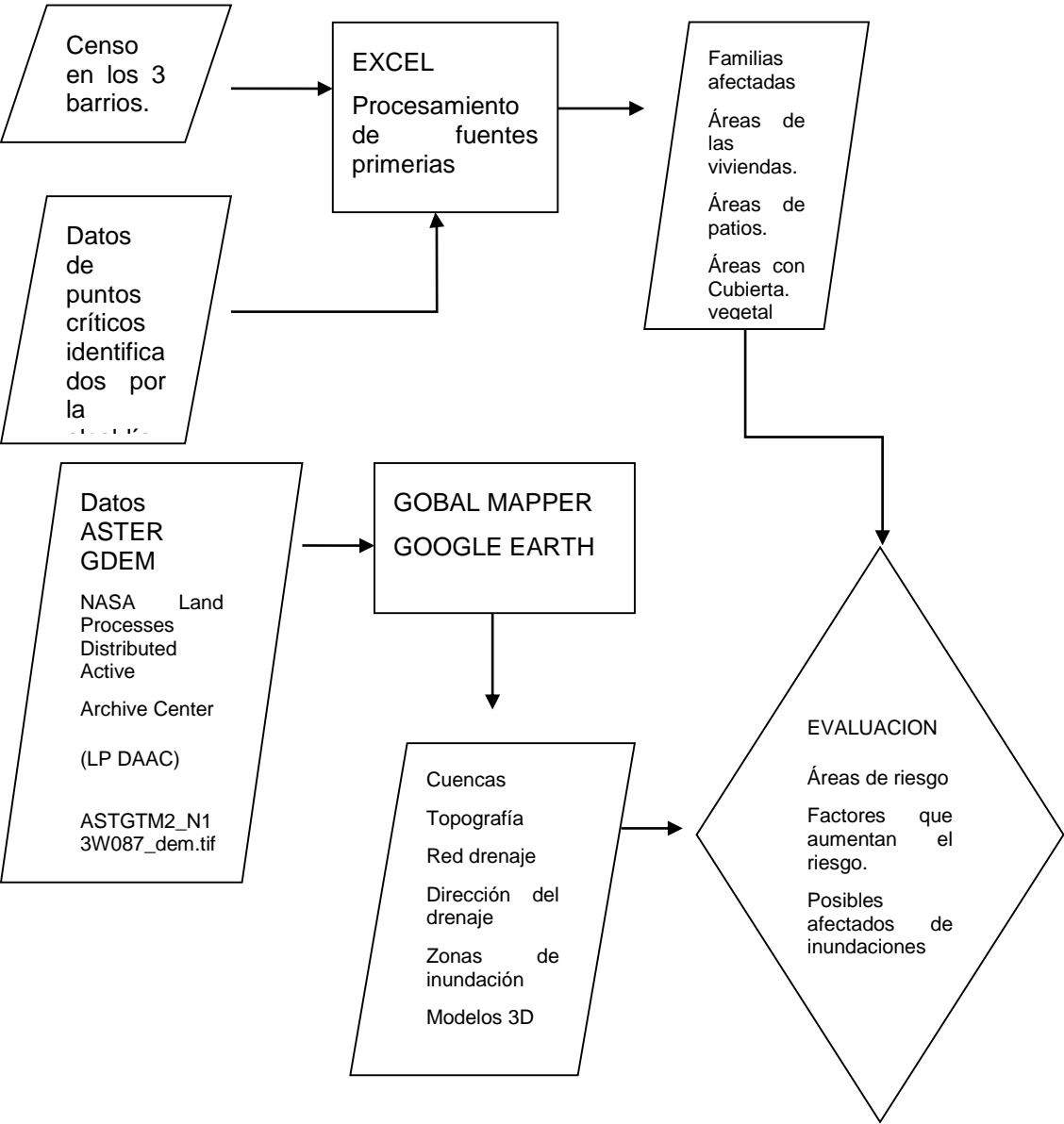
6.3.1. Objetivo 1

Evaluar los puntos críticos de inundaciones en base a la información proporcionada por la población, la Alcaldía Municipal y la interpretación cartográfica para localizar los sitios con mayor riesgo.

Actividades

1. Censo a la población objetivo de los barrios Barrio Alcides Meza, Mildred Centeno y Triunfo de la Revolución.
2. Entrevistas con técnicos de la alcaldía municipal para conocer los puntos críticos que ellos ubicaron en la comuna.
3. Análisis de la geomorfología y la red drenajes pluvial y basado en curvas de nivel modeladas con ASTER_DGEM procesado con Global Mapper y QGIS.

Diagrama No. 1 Proceso para el logro del primer objetivo

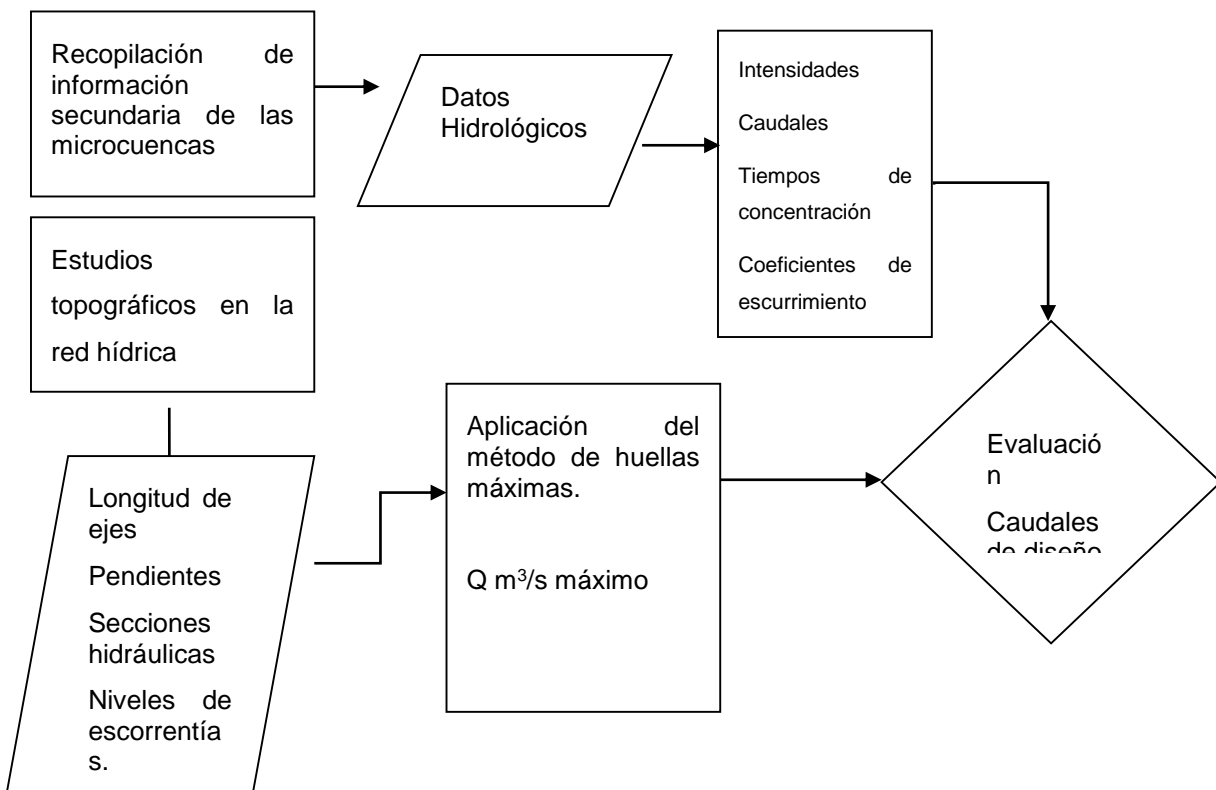


6.3.2. Objetivo 2

Determinar los caudales máximos que drenan hacia los puntos críticos mediante la interpretación de datos hidrológicos recientes y por la medición de caudales basado en las huellas máximas de las crecidas.

1. Recopilación y análisis de datos de intensidades de precipitación, áreas, caudales, tiempos de concentración de las microcuencas de la ciudad de Condega.
2. Levantamiento topográfico de los ejes, pendientes, taludes y dimensiones de las secciones hidráulicas de los drenajes principales.
3. Estimar caudales mediante el método sección-pendiente o huellas máximas.

Diagrama No. 2 Proceso para el logro del segundo objetivo

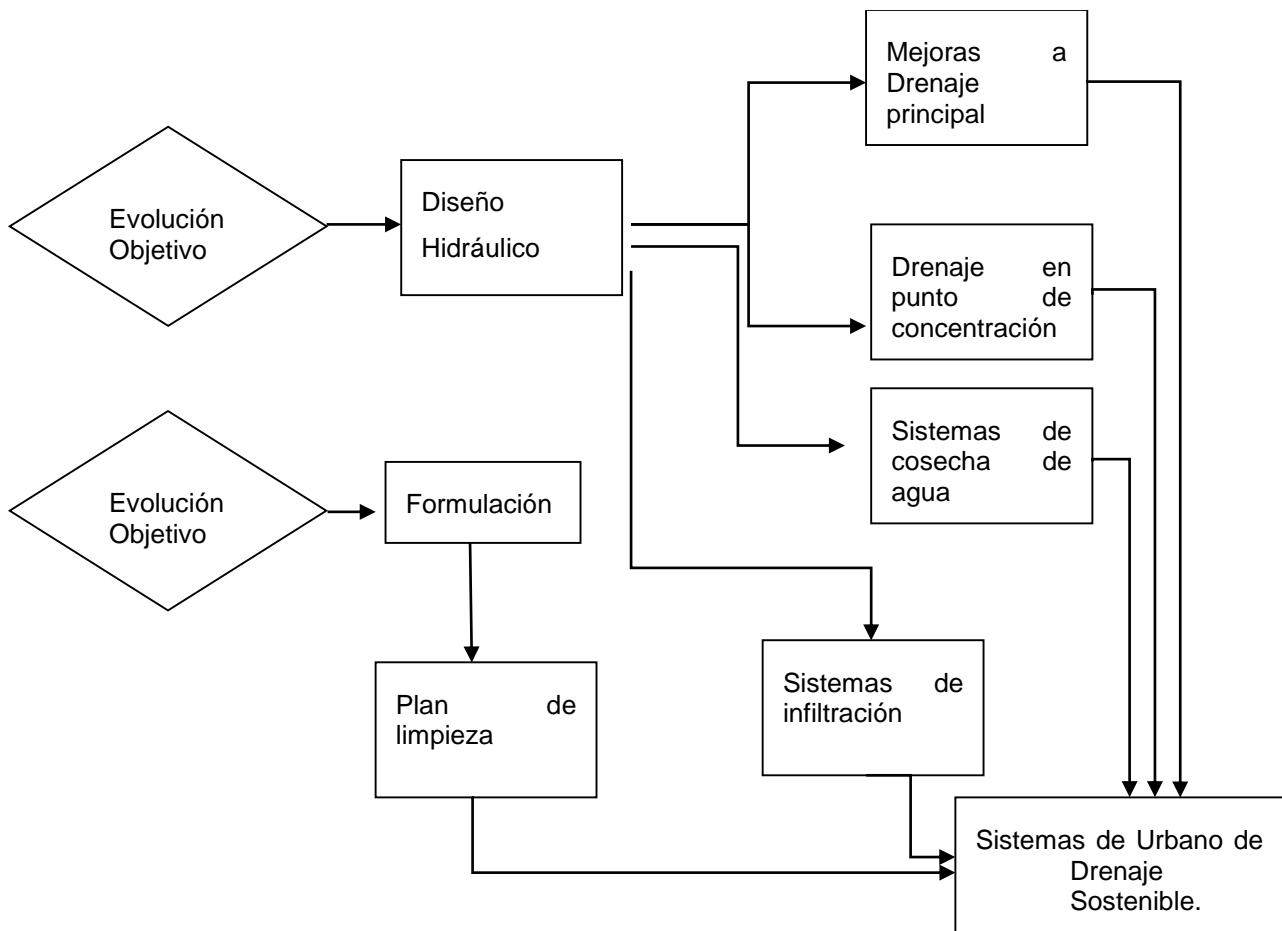


6.3.3. Objetivo 3

Diseñar un sistema de drenaje pluvial urbano sostenible (SDUS) con la capacidad necesaria para evacuar los caudales máximos de la escorrentía, gestionando además la calidad de las aguas y favoreciendo la infiltración.

1. Diseñar mejoras en el cauce principal, y un sistema para el drenaje del flujo represado en el punto de concentración en las partes bajas, basado en el nivel de los terrenos con relación al río, el caudal de diseño y el análisis del flujo y criterios de diseño para la sostenibilidad del drenaje.
2. Diseñar un sistema de cosecha de agua en viviendas por barrio y en edificios públicos y privados, para incidir en la reducción del caudal máximo de la crecida.
3. Diseñar áreas públicas y los patios de viviendas sistemas para la infiltración de la escorrentía.
4. Formular plan de limpieza comunal.

Diagrama No 3. Proceso para el logro del tercer objetivo

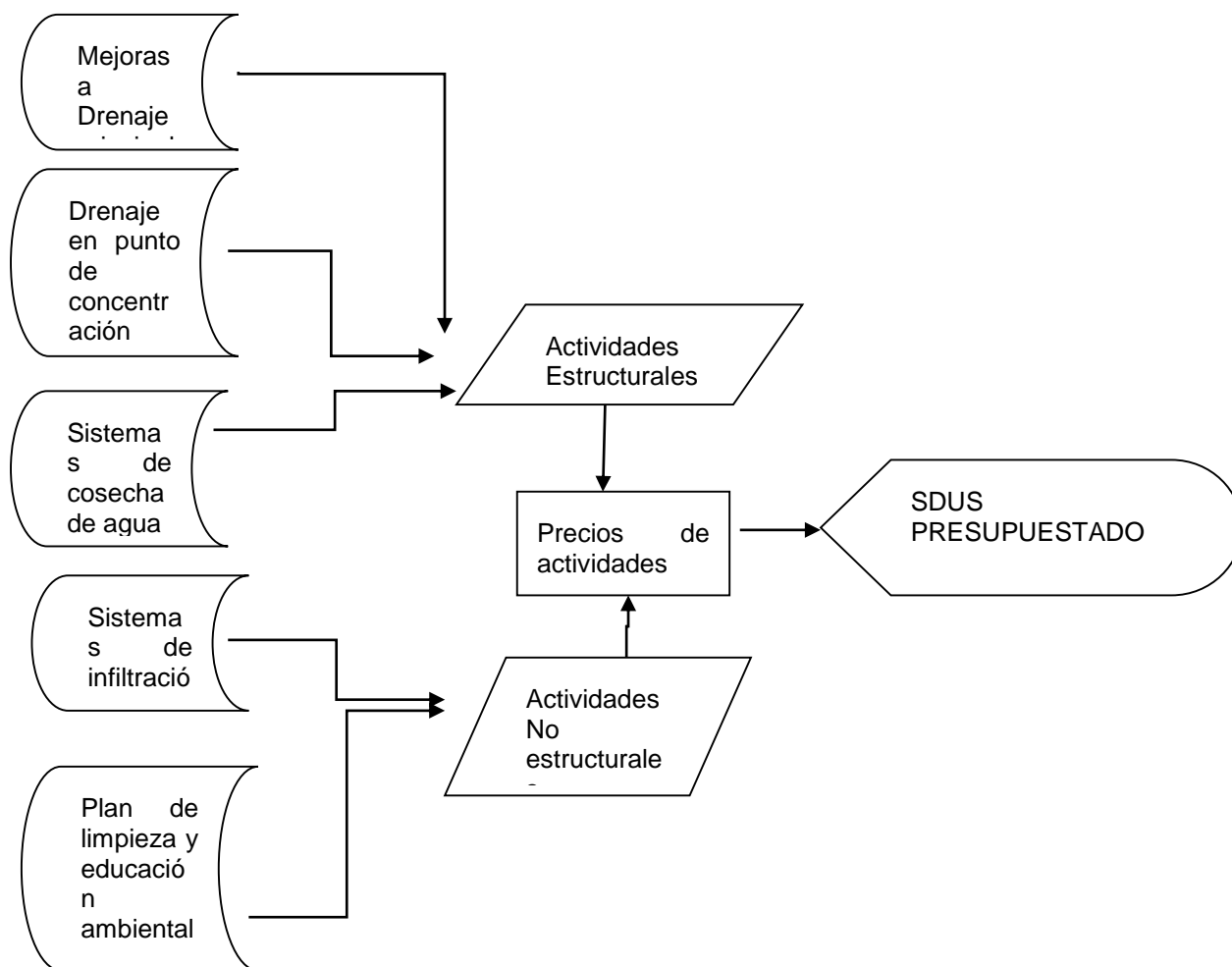


6.3.4. Objetivo 4

Calcular los costos de las obras tanto estructurales como no estructurales propuestas como parte de la gestión del sistema de drenaje urbano sostenible (SDUS).

1. Calcular los costos de obras hidráulicas
2. Calcular costos de acciones no estructurales.

Diagrama No. 4. Proceso para el logro del cuarto objetivo



6.4. Análisis y procesamiento de la información

Para el análisis de los datos raster de los Modelos Globales de Elevación (GDEM) y para la generación de la cartografía del estudio, se utilizaron software para procesamiento de información geográfica, los que se describen en el siguiente acápite.

Los datos hidrológicos e hidráulicos para el diseño de obras de drenaje fueron procesados con Excel. Otros datos con los puntos críticos fueron cartografiados a través de datos tipo CSV o vectores con el caso del diseño del nuevo canal.

6.4.1. Procesamiento y análisis de datos cartográficos

Inicialmente fueron descargaron los datos ATER–GDEM ver 2, (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, Global Digital Elevation Model*), con el archivo ASTGTM2_N13W087_dem.tif, colectados por la sonda de emisión y reflexión térmica radiómetro espacial avanzado (ASTER) del Ministerio de Economía, Comercio e Industria (METI) de Japón aborde del satélite TERRA, a través de la plataforma digital LPDAAC@usgs.gov de NASA, *Land Processes Distributed Active Archive Center* (LP DAAC).

Estos datos fueron procesados con Global Mapper y Q-GIS, generando los datos tipo vectores de perímetros, áreas y elevaciones, que se utilizaron en el cálculo del escurrimiento superficial.

Finalmente toda la información se presentó en mapas generados con Q-GIS, a los cuales se le incorporan también, datos CSV de los puntos críticos y vectores de las obras hidráulicas construidas hasta la fecha y datos hidrológicos de las microcuencas.

6.4.2. Caudales máximos de las microcuencas

El método utilizado para calcular las escorrentías fue el método Racional, debido a que todas las microcuencas fueron menores a 300 ha; para los cálculos se usaron las siguientes ecuaciones:

(a) $Q: 0.028 CIA$, donde;

Q , caudal en m^3/s ,

I : en cm/h .

A : es área en hectáreas.

C : coeficiente de escurrimiento (adimensional),

(b) $T_c: 0.02 L^{1.15} / H^{0.335}$ donde;

T_c : es tiempo de concentración, el cual se iguala a los minutos en la curva de intensidad duración frecuencia (IDF).

L : longitud de la cuenca en metros,

H : desnivel de la cuenca, del punto de mayor elevación al de menor elevación en metros.

Las áreas y elevaciones fueron calculadas en formato vectorial con Global Mapper y la intensidad de las precipitaciones se tomó de la estación de Condega, presentada por Past – Danida, en la “Guía hidráulica para el diseño de obras de drenaje en caminos rurales”.

Para el cálculo de curvas se usó la ecuación:

$I: A/(t_c+d)^b$, donde;

I : es la intensidad mm/h ,

T_c : es el tiempo de concentración en minutos,

Los valores A , d , b , se toman de la tabla siguiente:

Tabla No 4: **Datos para estimar las curvas IDF de Condega.**

Periodos de retorno años	A	D	b
10	2715.03	16	0.915
25	4502.39	22	0.969
50	5770.70	25	0.991
100	8388.43	30	1.035

6.4.3. Datos estadísticos y cálculos

Los datos de la encuesta en los 3 barrios estudiados se procesaron con Excel, con lo cual se obtuvieron todos los parámetros descriptivos de la población, como la media poblacional, frecuencias y desviación estándar de la misma, así como las sumatorias de las variables: superficies, viviendas, patios, y áreas verdes (anexo No.1).

6.4.4. Datos hidráulicos y cálculos

También se usó Excel para realizar los cálculos de caudales con la metodología de huellas máximas y relación sección-pendiente, la que se basa en el método simplificado (SARH, 1982).

6.4.5. Caudales, con el método simplificado de huellas máximas.

El método se recomienda cuando se tienen cárcavas o drenajes donde se puede observar las huellas que deja los escurrimientos máximos.

El cálculo consiste en aplicar la fórmula:

Q: AV;

Donde;

Q: es el escurrimiento máximo en m³/s.

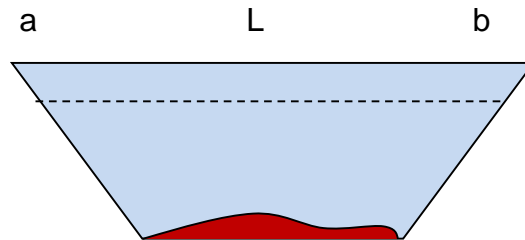
A: es el área hidráulica de la sección en m².

V: es la velocidad del flujo en m/s.

Cálculo del área hidráulica de la sección (A)

1. Con una cinta se mida la longitud que existe entre las huellas máximas, en la sección donde se pretende ubicar la estructura.

Figura No 2. Sección hidráulica

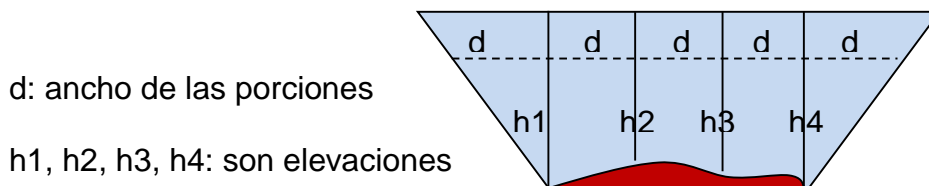


a y b: huellas máximas

L: longitud entre las huellas

2. La longitud se divide en varias porciones iguales, recomendándose un mayor número de tramos cuando el fondo sea más irregular. La longitud de las porciones puede variar de 0.5 a 2 metros.

Figura No 3. Detalle de sección tipo



d: ancho de las porciones

h1, h2, h3, h4: son elevaciones

3. Con la cinta métrica, se miden las alturas (h) que existen entre el piso de la cárcava y la cinta que une las huellas máximas, en las diferentes distancias parciales.
4. El área se calcula con un método grafico o con AutoCAD.

Calcula de la velocidad de flujo (v)

Para este cálculo se utiliza la fórmula de Manning:

$$V: 1/n R^{2/3} s^{1/2} \quad (2)$$

Donde:

V: es la velocidad del flujo (m/s)

R: es el radio hidráulico (m)

S: es la pendiente (metros/metro)

N: es el coeficiente de rugosidad (adimensional)

Radio hidráulico (R); es la relación que existe entre el área de la sección y el perímetro mojado.

R: A/P donde;

R: es el radio hidráulico (m)

A: es el área de la sección en (m²)

P: es el perímetro mojado (m)

Coeficiente de rugosidad (n), este valor es una función de las características de la cárcava o drenaje (anexo No 2).

Finalmente al resolver la ecuación (2), y aplicar la ecuación (1), se obtiene el caudal máximo de escurrimiento, para lo cual se usa una planilla de cálculo (anexo no 3).

Las pendientes se obtuvieron con clinómetro (anexo No 4).

Cuando haya secciones diferentes en el cauce se usará la siguiente expresión:

$$Q: \sqrt{(\Delta y/L)} / \sqrt{[(1/K_d^2 - 1/bgL) (1/A_1^2 - 1/A_2^2)]}$$

Dónde:

Δy : $(z_1+y_1) - (z_2+y_2)$, o sea es diferencia en elevación de las marcas del nivel máximo del agua en los extremos del tramo y;

K_d^2 : $1/n AR^{2/3}$: es el coeficiente de conducción medio del tramo.

b: 2 si $A_1 > A_2$ y b = 4 si $A_2 > A_1$;

L: es la longitud y g : es 9.81 m/s^2 , la aceleración de la gravedad.

6.4.6. Capacidad de alcantarillas

La capacidad o caudales máximos que fluyen por las alcantarillas se calcularon con las tablas y nomograma de la FHWA en el “Hydraulic Design N°5, citado por PAST_DANIDA.

La determinación del caudal por el control de entrada está dada por la relación:

$H_e/D: K[Q/AD^{0.5}]^M$ siendo;

H_e : la profundidad de la carga en el control de entrada

D : es el diámetro interno de la tubería.

Q : es el caudal, que debe ser igual o mayor al caudal de diseño (Q_d).

A : es el área llena de la tubería

K y M : constantes, que dependen del tipo de alcantarilla y la forma de los aletones de entrada. La FHWA3 elaboró valores para estas constantes.

Para los cálculos se utilizó el nomograma dispuesto en el anexo No 5.

6.4.7. Diseño hidráulico

Las mejoras al sistema de drenaje, se presentan planos en AutoCAD. Con este software se hizo además cálculos de áreas de secciones y con él también se confirmó los cálculos de las pendientes, mediante un análisis gráfico del nivel del terreno.

Para el diseño del nuevo canal paralelo al dique se consideró, caudales máximos con retorno de 10 años, velocidades de menores o iguales a 1 m/s , así como amplios taludes para la estabilidad de la estructura; todo con recubrimiento de piedra bolón, para favorecer la infiltración en el canal, siguiendo los principios de los “Sistemas de Drenaje Urbano Sostenibles”.

6.4.8. Formulación

Toda la redacción del documento de tesis y sus anexos fueron realizados con Microsoft Word, además con éste software se hicieron los diagramas generales.

VII. RESULTADOS

7.1. Evaluación de los puntos críticos

En la evaluación de los puntos críticos (tabla No 5, mapa No 1), se tomaron en cuenta las apreciaciones de la población en lo relacionado con la frecuencia de las inundaciones, además se consideraron los informes de los técnicos de la Alcaldía Municipal relacionados con los sitios más vulnerables; y finalmente se consideró también la posición en el relieve de los puntos críticos, respecto a las cotas de los principales drenajes, el río Pire y río Estelí (mapa No 1).

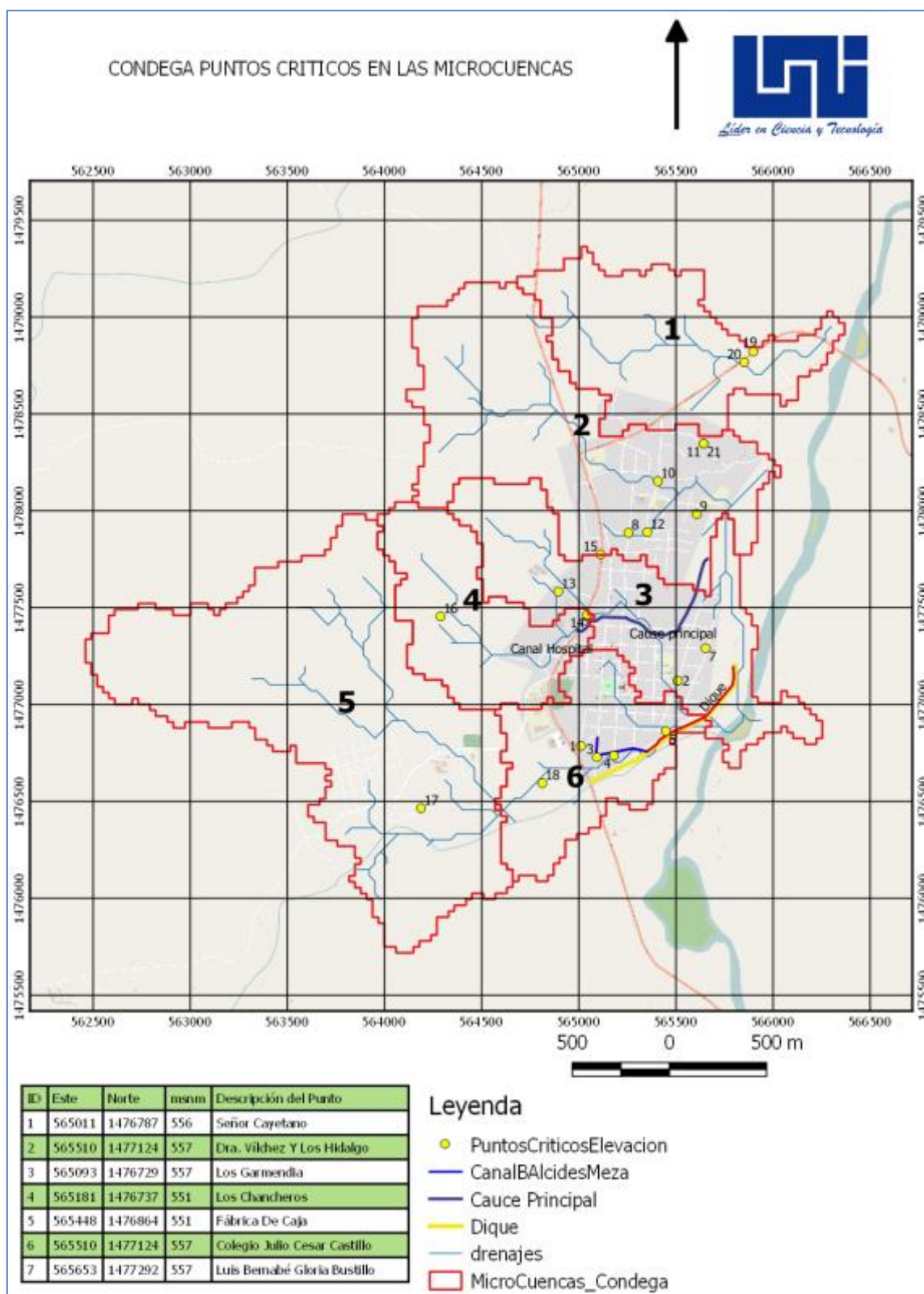
Por otra parte, debido a las características del relieve (Mapa No 2) y el crecimiento de la ciudad, se optó por analizar con mayor énfasis en el presente estudio, las zonas más bajas de la ciudad, es decir aquellos puntos y áreas cuyas elevaciones fueran menores a la cota de 540msnm (Mapa de relieve No 2 y Mapa Topográfico No 3).

Con las consideraciones evaluativas antes descritas, se optó por la focalización del estudio en la zona baja de la ciudad, lo que correspondió a los barrios Alcides Meza, Mildred Centeno y Triunfo de la Revolución. En dichos barrios también se identificaron 7 puntos críticos, de los 21 puntos críticos registrados por los técnicos de la municipalidad y por los recorridos de campo realizados en el marco del presente estudio.

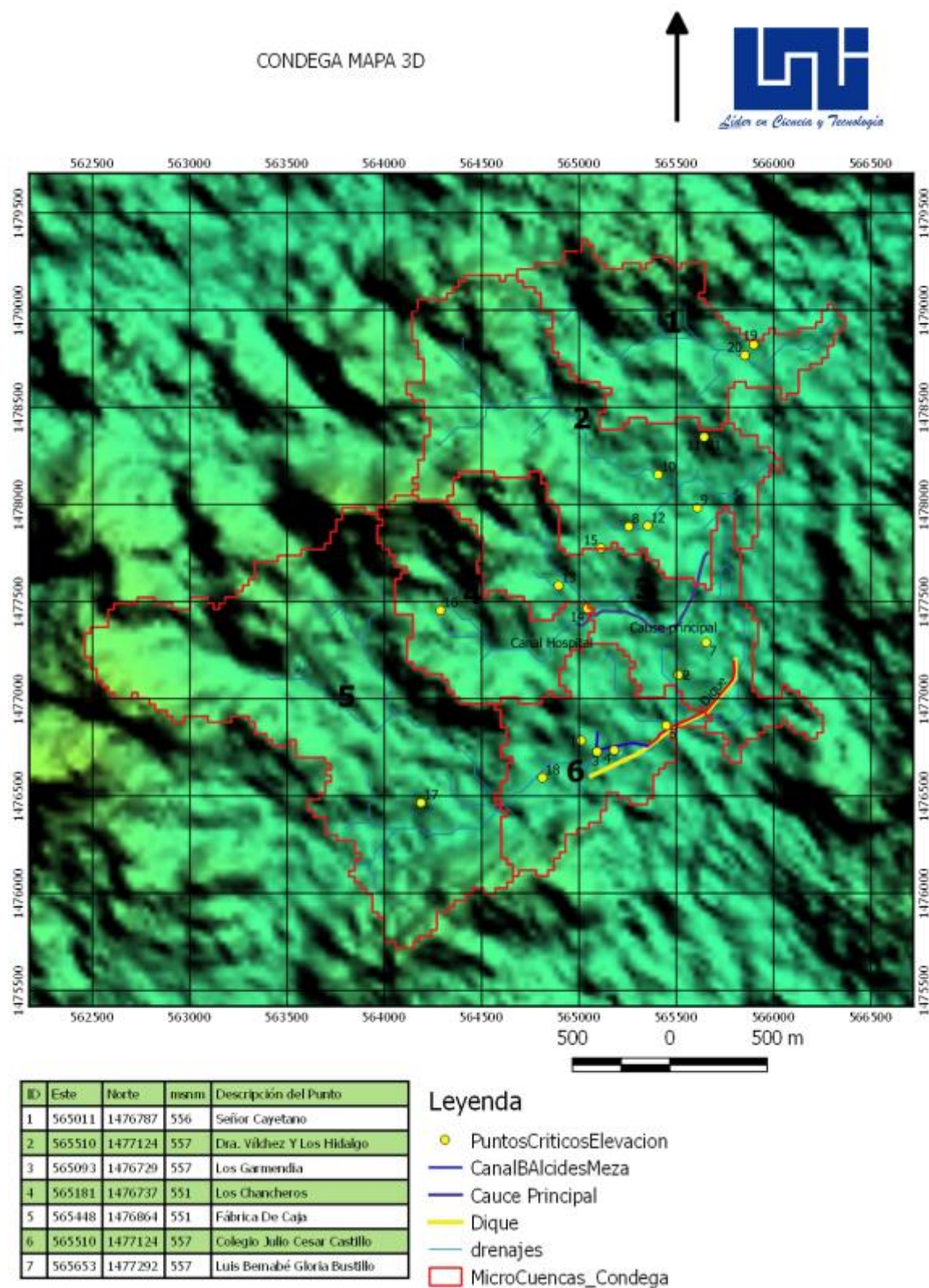
Tabla No 5. Puntos críticos en la ciudad de Condega

ID	Zona	Este	Norte	Altitud (m)	Priorizado	Descripción del Punto
1	16P	565011	1476787	556	x	Esquina Del Señor Cayetano
2	16P	565510	1477124	557	x	Esquina Dra. Vílchez Y Esquina Donde Los Hidalgo
3	16P	565093	1476729	557	x	Convergencia Donde Los Garmendia
4	16P	565181	1476737	551	x	Los Chancheros
5	16P	565448	1476864	551	x	Fábrica De Caja
6	16P	565510	1477124	557	x	Esquina Colegio Julio Cesar Castillo Ubau
7	16P	565653	1477292	557	x	Esquina Donde Sr. Luis Bernabé, Gloria Bustillo Y Mercedes Toruño
8	16P	565256	1477887	549		Esquina De Botas Bronzo
9	16P	565608	1477984	551		Barrio Esfuerzo No 1
10	16P	565407	1478154	560		Barrio Esfuerzo No 2
11	16P	565643	1478348	573		Quebrada Las Tejas
12	16P	565353	1477891	559		Barrio Evaristo Cruz
13	16P	564895	1477584	572		Santiago Baldovino
14	16P	565043	1477465	564		Sector Hospital
15	16P	565112	1477776	570		Barrio Moisés Córdoba
16	16P	564288	1477456	564		Barrio Juanita Vizcaya
17	16P	564188	1476466	564		Cementerio Nuevo
18	16P	564812	1476595	564		Barrio Francisco Luis Espinoza
19	16P	565898	1478823	562		Barrio Linda Vista
20	16P	565852	1478768	561		Valle de Jesús
21	16P	565643	1478348	573		Barrio Guadalupe

Mapa No 1. Mapa de Puntos críticos en la ciudad de Condega



Mapa No 2. Mapa de relieve de la ciudad de Condega y puntos críticos

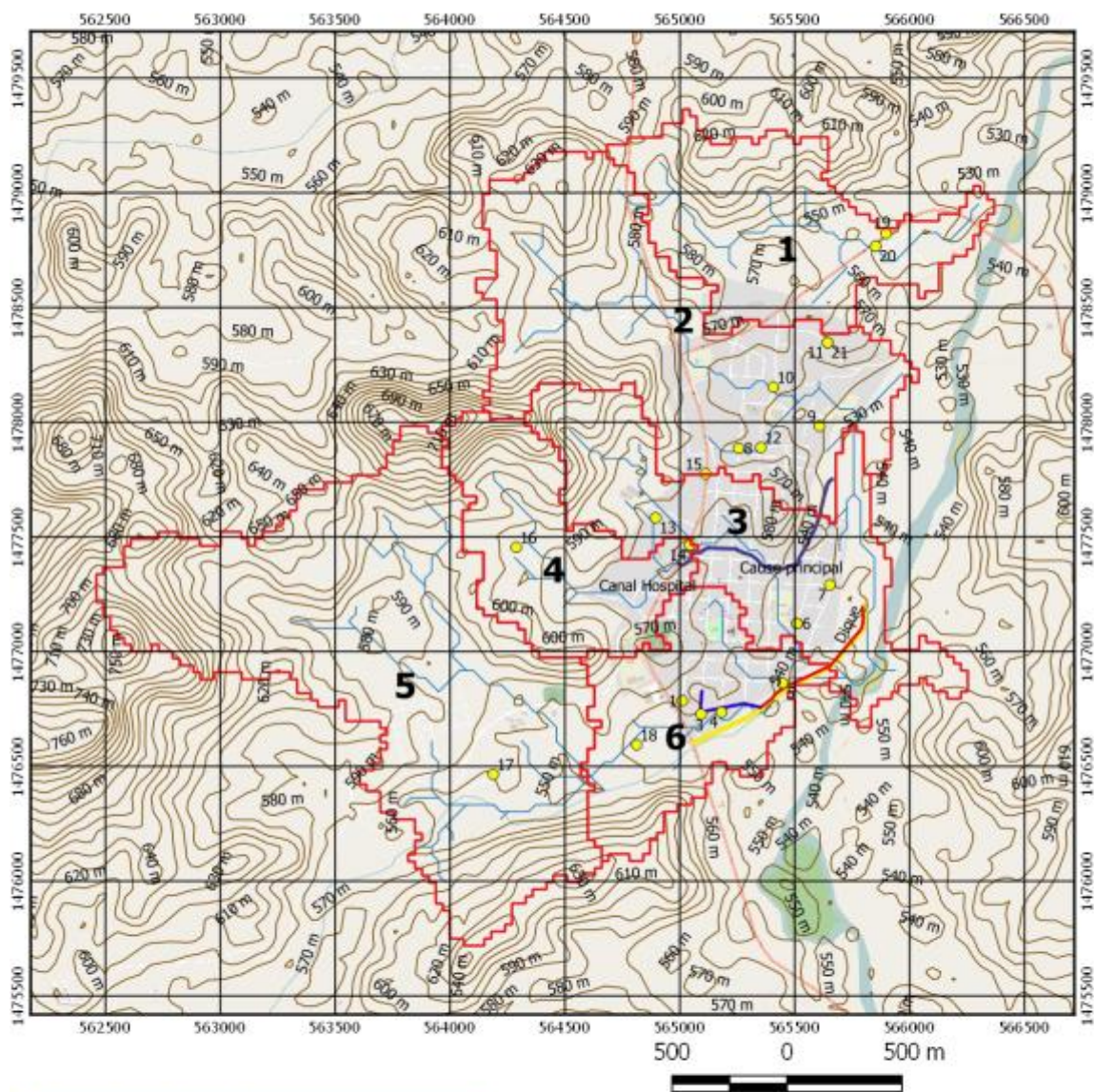


Mapa No 3. Mapa topográfico de la ciudad de Condega

CONDEGA MAPA TOPOGRAFICO



Lider en Ciencia y Tecnología



ID	Este	Norte	msnm	Descripción del Punto
1	565011	1476787	556	Señor Cayetano
2	565510	1477124	557	Dra. Vilchez Y Los Hidalgo
3	565093	1476729	557	Los Garmendia
4	565181	1476737	551	Los Chancheros
5	565448	1476864	551	Fábrica De Caja
6	565510	1477124	557	Colegio Julio Cesar Castillo
7	565653	1477292	557	Luis Bernabé Gloria Bustillo

Leyenda

- PuntosCríticosElevacion
- CanalBAldicesMeza
- Cauce Principal
- Dique
- drenajes
- MicroCuencas_Condega

7.1.1. Encuesta a la población objetivo

Según lo descrito en el acápite anterior, las poblaciones de los barrios Alcides Meza, Mildred Centeno y Triunfo de la Revolución, conforman la población objetivo del estudio, lo cual también incluyó 7 puntos críticos, de los 21 identificados en la ciudad.

Por tanto, se realizó una encuesta en los 3 barrios en estudio, incluyendo a 105 viviendas de un total de 140, lo que representó el 75% de todas las viviendas. Según los resultados presentados en la tabla no 6, los pobladores opinaron que el 100% de sus viviendas se inundan periódicamente, lo que es consistente con los 7 puntos críticos presentes en dichos barrios.

Además manifestaron que en ninguna vivienda se realiza cosecha de agua, aunque afirmaron que el 100% de las mismas tiene agua potable.

Así mismo se encontró que un 8.57% de los usuarios de agua, la utilizan para riego, mientras que un 4.76% la usa agua para la pequeña industria.

Tabla No 6. Frecuencias de inundación y uso de agua

Ítems	Frecuencia		%	
	Si	No	Si	No
Inundación	105	0	100.00	0.00
Cosecha de agua	0	105	0.00	100.00
Agua Potables	105	0	100.00	0.00
Riego	9	96	8.57	91.43
Industria	5	100	4.76	95.24

En la tabla no 7, se muestra que en las 105 viviendas encuestadas, viven 476 personas, resultando un promedio de 4.53 personas por vivienda. El área total construida de las viviendas es de 25,124.39 m², con un promedio de 239.28 m². También se encontraron superficies menores en las áreas de patio y áreas verdes.

Como lo muestran los resultados, las familias no utilizan las aguas pluviales, aunque algunos necesitan agua para riego o para la pequeña industria; contrariamente los pobladores piensan que dichas aguas constituyen un problema

para los habitantes de los barrios y que es necesario drenarlas lo más rápido que se pueda.

Tabla No 7. Resultados de viviendas, personas y áreas

Ítems	Unidades	Promedio	STD	Total
Viviendas	Und			105.00
Personas que habitan en la vivienda	habitantes	4.53	2.01	476.00
Área Vivienda	m ²	239.28	225.32	25,124.39
Área de Patio	m ²	184.46	247.85	7,193.79
Áreas Verdes	m ²	75.07	84.62	525.52
Consumos de agua	Lts	325.33	188.23	34,159.86

No obstante, un programa de cosecha de agua podría fomentar el aprovechamiento de las aguas pluviales, dándoles un uso para el hogar, el riego y la pequeña industria presente en los barrios. Lo anterior se lograría utilizando las áreas de techo construidas para las viviendas, lo que equivale a unos 25,124.39 m² de superficie de captación, en las cuales se podrían instalar por lo menos una cisterna de almacenamiento de agua pluvial por vivienda.

7.1.2. Entrevistas con técnicos de la Alcaldía Municipal

De acuerdo con las entrevistas a los técnicos de la Alcaldía Municipal, así como por las visitas conjuntas a los barrios de la ciudad de Condega, realizados en el marco del presente estudio, se pudo confirmar la urgente necesidad de resolver los problemas de inundaciones en los 21 puntos críticos que sufren inundaciones recurrentes, pero se consideró de mayor prioridad los 7 puntos críticos ubicados en las zonas más bajas de la ciudad, a orillas de río Pire (mapa No 1), donde se localizan los barrios Alcides Meza, Mildred Centeno y Triunfo de la Revolución.

7.1.3. Descripción de las microcuencas

Concluida las entrevistas con los técnicos, y las vistas de campo a los diferentes barrios de la ciudad de Condega, se procedió a estudiar el espacio geográfico que ocupa la ciudad, encontrando que el mismo está conformado por 6 microcuencas, como se observa en el mapa No 1.

7.1.3.1. Índices morfométricos

En el sector ubicado al “Oeste” de la carrera panamericana, están las mayores elevaciones de las microcuencas, como se aprecia en el mapa de relieve No 2 y el mapa topográfico No 3; el paisaje está conformado por colinas, cuyas elevaciones varían desde 751 msnm, en el oeste de la ciudad, hasta 528 msnm en el “Este”, por donde drenan los ríos Pire y Estelí.

Tabla No 8. Índices morfométricos de las microcuencas

Micro cuenca	Área	Longitud Cauce	Perímetro	Elevación (m)			Kc	S	INETER
	Km ²	m	Km	Max	Min	Media		%	M in
MC 1	0.837	2,078.54	6.61	625.28	527.95	573.71	2.02	7.88	11.63
MC 2	1.475	2,380.52	8.99	684.00	528.00	580.23	2.07	8.26	11.34
MC 3	0.991	1,992.09	9.17	676.00	528.00	565.00	2.58	13.3 9	9.89
MC 4	0.644	1,390.31	5.22	720.00	555.00	596.39	1.82	10.6 1	6.09
MC 5	2.157	2,440.00	10.44	751.00	548.00	601.87	2.49	16.9 2	10.48
MC 6	0.706	1,365.22	5.65	625.00	535.00	557.52	1.88	8.62	7.39
	6.81								

La tabla No 8, presenta los datos morfométricos de las microcuencas y de acuerdo al coeficiente de compacidad (Kc), puede decirse que las microcuencas presentan una forma rectangular oblonganda, siendo esta característica un poco menor en las microcuencas 4 y 6, las cuales son un poco más redondeadas que las otras. En general dicha forma geométrica favorece el drenaje natural, y por tanto no hay concentración del escurrimiento superficial.

Así mismo las pendientes de los cauces de las microcuencas presentadas también en la Tabla no 8, suelen variar desde 16.92% en la microcuenca 5 hasta 7.88% en la microcuenca No 1. Tales pendientes se califican de moderadas a fuertes, lo que favorecen el escurrimiento y disminuye el tiempo de concentración en el punto de cierre de cada una de las microcuencas.

La geomorfología en las microcuencas, corresponde a formaciones de colinas y da paso a las orillas del río Pire en las microcuencas 3 y 6, a una formación aluvial plana (mapa No 3), la cual es protegida de las inundaciones del río, mediante gaviones con 3 metros de altura, ubicados longitudinalmente en el sentido del drenaje de dicho río.

7.1.3.2. La red de drenaje

La red de drenaje natural de la ciudad se observa en el mapa no 1, 2 y 3; y consiste en un sistemas de drenaje estacionario (quebradas) en las seis microcuencas, siendo los drenajes ubicados en las microcuencas 3 y 4 los más relevantes para la zona central de la ciudad de Condega, destacándose el conocido cauce principal, el cual fue revestido en un tramo de 610 metros, y tiene un tramo adicional de 430 metros sin revestir, hasta llegar al río Estelí.

El drenaje antes mencionado, que nace en la zona media de la microcuenca 3, comienza en la cota 560 msnm y se forma por los afluentes de la microcuenca 4 y zona alta de la microcuenca 3, drenado las aguas hasta el río Estelí.

7.2. La escorrentía y las inundaciones en la zona baja de ciudad

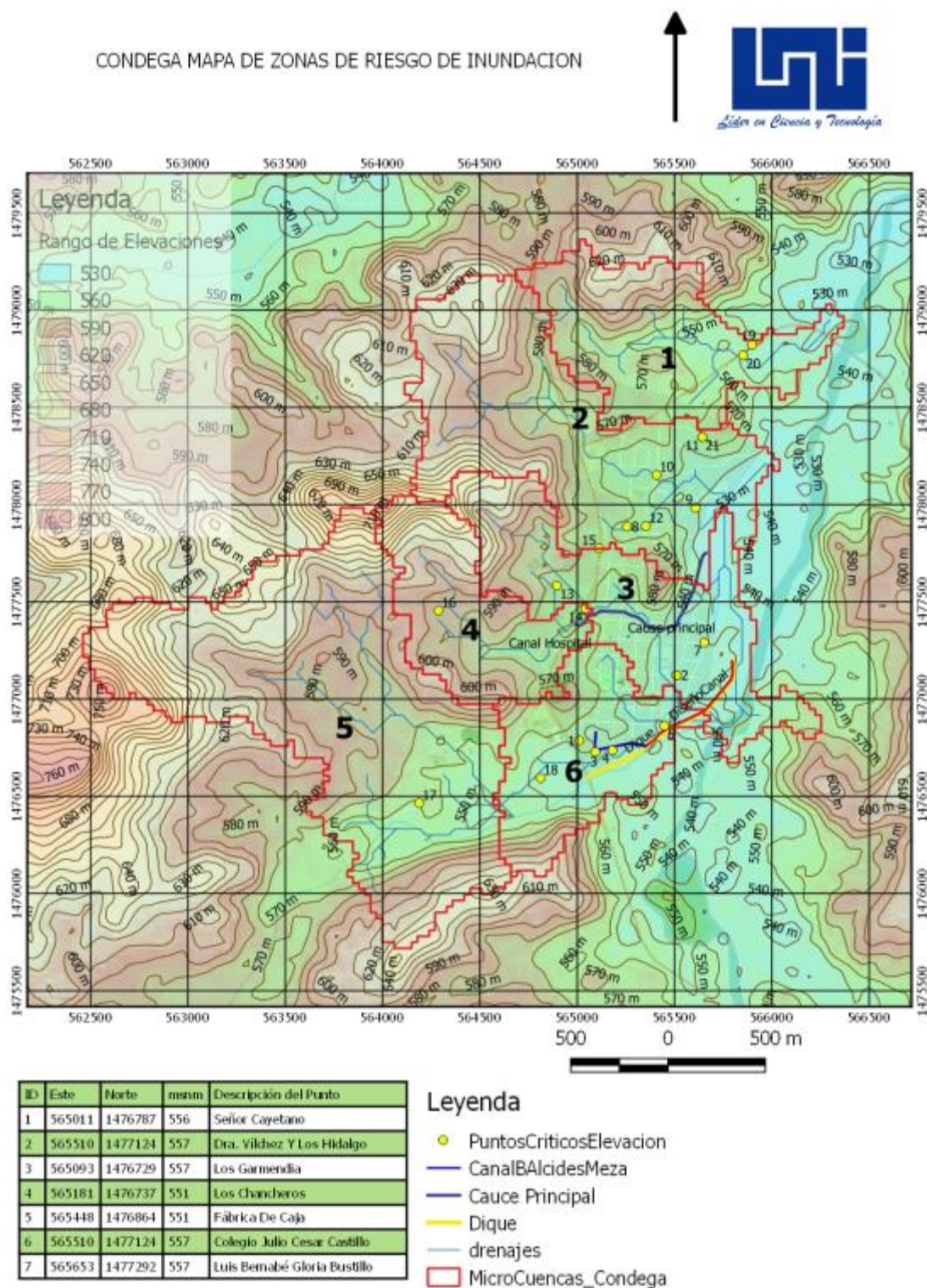
Como se indicó anteriormente, la zona baja y plana de la ciudad (mapa No 4), es afectada por las aguas de la escorrentía de las microcuencas 3 y 6, el área de escurrimiento de la microcuenca 6 es de 0.706 Km², y el caudal máximo generado con período de retorno de 10 años, es de 13.84 m³/s, mientras que en la microcuenca 3, con una superficie de 0.991 Km², el caudal es de 17.29 m³/s con similar período de retorno (tabla No 9).

Tabla No 9. Caudales máximos con diferentes períodos de retorno y tiempo de concentración de 6 microcuencas

Microcuencas	Área	C	Tc	Q m ³ /s			
	Km ²		Min	Q10	Q25	Q50	Q100
MC1	0.832	0.5137	28.21	10.14	12.12	13.45	14.96
MC2	1.475	0.6555	28.15	22.97	27.44	30.46	33.87
MC3	0.991	0.6610	23.35	17.29	20.50	22.67	25.09
MC4	0.644	0.5378	14.89	11.41	13.24	14.50	15.86
MC5	2.157	0.6151	26.52	32.63	38.89	43.12	47.88
MC6	0.706	0.6474	17.86	13.84	16.21	17.82	19.59
	6.805						

En este entorno geográfico e hidrológico, el cual se presenta en el mapa No 4, se localiza una zona cartografiada en color celeste, comprendida entre las cotas 530 y 540 msnm, que abarca la zona aluvial a orillas del río Pire, la cual se inunda periódicamente y es donde se localizan los 3 barrios objetos del presente estudio.

Mapa No 4. Zonas de riego por inundaciones la ciudad de Condega



No obstante, para mitigar las inundaciones causadas por el río Pire, se construyó un dique de gaviones de 896 metros de longitud y una elevación de 3 metros (mapa No 4), pero dicha obra construida paralela al río, ha interrumpido el drenaje natural de las aguas de escorrentía de la microcuenca 6, la cual se estima en 13.84 m³/s, según la tabla No 9, creando de esta manera una zona de inundación entre el dique y los barrios Mildred Centeno y Triunfo de la Revolución (mapa No 4, área coloreada en azul).

Adicionalmente dicha zona con un alto riesgo de inundación, también puede ser afectada por las escorrentías de las microcuencas 3, a través del cauce principal, lo que puede ocurrir en momentos que el río Estelí y Pire estén desbordados, situación que ocurre en años con presencia de fenómenos climáticos extraordinarios, como fue el caso del huracán Mitch o Juana.

7.3. Caudales máximos de las escorrentías en las microcuencas

Con el método racional se calculó la escorrentía de la seis microcuencas que inciden en la ciudad de Condega como se presenta en la Tabla No 9, descrita anteriormente. Los cálculos como se indican en la mencionada tabla se hicieron para períodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años.

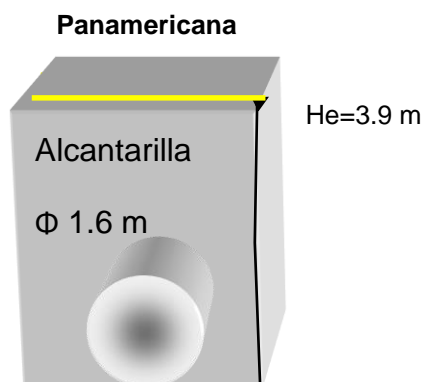
También se calculó la escorrentía por el método de huellas máximas, y en este caso el estudio se limitó a las 3 microcuencas que más inciden en el centro y barrios de la zona baja de la ciudad de Condega, siendo ellas las microcuencas 3, 4 y 6. Se encontraron los siguientes resultados para las microcuencas estudiadas con este método.

7.3.1. Microcuenca 3, observación en la alcantarilla Los Pipitos

El estudio de la alcantarilla de 1.6 m de diámetro, frente al centro Los Pipitos (diagrama No 5 y mapa No 4), la cual colecta el escurrimiento de la microcuenca 3, dio resultado de 10 m³/s (tabla No 9), de acuerdo con el nivel máximo del agua sobre la alcantarilla (He=3.9m), siendo dicho resultado inferior al calculado con el método racional con retorno de 10 años, que fue de 17.29 m³/s.

Según los pobladores ocurren desbordamientos eventuales de la alcantarilla desde que se reparó la carretera en el año 2002, por lo que se puede considerar que el caudal estimado con la alcantarilla, no representa los eventos extraordinarios que ocurren, por lo que el caudal máximo más bien está representado con el valor 17.29 m³/s, según el método racional.

Diagrama No: 5 Alcantarilla frente al centro Los Pipitos



7.3.2. Microcuenca 4, alcantarilla frente al hospital

Seguidamente se estudió la alcantarilla de 1.3 m de diámetro ubicada frente al Hospital, Ada María López (diagrama No 6 y mapa No 4), en ella el caudal máximo encontrado según las huellas máximas ($H_e=3.8\text{m}$) fue de $6 \text{ m}^3/\text{s}$ (tabla No 10), lo cual es inferior al calculado según método racional (tabla No 9), que fue de $11.41 \text{ m}^3/\text{s}$, no obstante en este caso no se ha observado desbordamiento de la alcantarilla desde la reparación de la carretera panamericana.

Por las razones anteriores, el caudal calculado con las huellas máximas en la alcantarilla, en este caso es con cierta seguridad, el caudal máximo normal, o sea aquel que ocurre cuando no se presentan eventos extremos.

Diagrama No. 6 Alcantarilla frente al Hospital de Condega

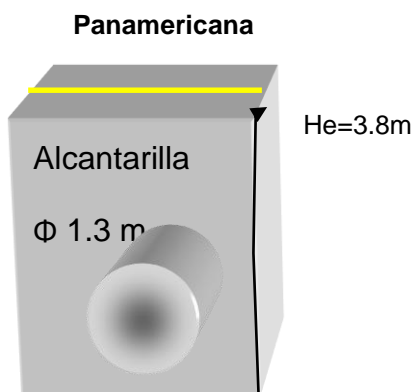


Tabla No 10. Caudales encontrados según las huellas máximas

Microcuencas	Sector	Diámetro (m)	He (m)	He/D	Huellas Máximas*	Retorno 10 años
					Q m ³ /s	Q m ³ /s
3	Los Pipitos	1.6	3.9	2.44	10	17.29
4	Hospital	1.3	3.8	2.92	6	11.41

*Para el estimado del caudal que pasa por las alcantarillas se usó en nomograma Altura de la carga y capacidad para tubos de concreto con control de entrada (sistema métrico), adaptado de FHWA, HDS 5. 1988

7.3.3. Microcuenca 6, canal Barrio Alcides Meza

En la microcuenca 6, solo se encontró un pequeño canal revestido con adoquín en el barrio Alcides Meza, el cual recibe escurrimiento de una superficie de 1.57 ha, el resto del escurrimiento superficial de la microcuenca se drena a por las calzadas.

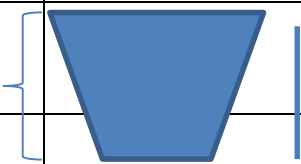
De acuerdo al estudio de las huellas máximas del canal antes mencionado, cuyos resultados se presentan en la tabla No 11 y 12, se encontró un caudal de 0.376 m³/s, generado por el escurrimiento en un área de captación de 1.57 ha. Posteriormente, para extrapolar dicho resultado al resto de la superficie de la microcuenca, este se relacionó con la superficie, resultando un caudal de 0.239 m³/s/ha. Con dicho resultado se estimó el caudal total de la microcuenca, el cual fue de 16.97 m³/s, (0.239 x 70.6 ha =16.87m³/s).

Finalmente el escurrimiento calculado con este método, se comparó por el estimado a través del método racional, el cual fue de 13.84 m³/s, con período de retorno de 10 años, siendo éste último inferior al calculado por las huellas máximas, en este caso el método de huellas máximas sobre estimó el máximo caudal, quizá porque el coeficiente utilizado proviene un área muy pequeña que no es representativa de las condiciones generales de la superficie total de la microcuenca.

Tabla No 11. Caudal con huellas máximas en canal Ba. Alcides Meza

Área sección m ²	Perímetro o mojado	Radio hidráulico	S m/m	n	V m/s	Q m ³ /s	Q m ³ /s/ha	Microcuenca 6 Q m ³ /s	Retorno 10 años Q m ³ /s
0.219	1.243	0.176	0.012	0.02	1.715	0.376	0.239	16.87	13.84
n = Piedras irregulares, unidas con mortero cemento							0,017 -0,020		

Tabla No 12. Sección del canal Ba. Alcides Meza

	0.83m		
			
0.32m		0.27m	tirante
	0.54m		
Área de escurrimiento= 1.571 Hectáreas			


También se hizo el estudio de la escorrentía en las calzadas, como se muestra en las tablas No 13 y 14, encontrándose un caudal de 0.87 m³/s, por calle o calzada, lo que al extrapolarse a las 11 calles de la microcuenca 6, dio un caudal de 9.57 m³/s, lo que es menor al valor calculado por el método de racional que es de 13.84 m³/s, con retorno de 10años.

Tabla No 13. Caudal con Huelas máximas en 11 calles del microcuenca 6

Área sección m ²	Perímetro mojado	Radio hidráulico	S m/m	n	V m/s	Q m ³ /s, en una calle	Q m ³ /s, en 11 calles	Retorno 10 años Q m ³ /s
0.670	6.900	0.097	0.009	0.015	1.298	0.870	9.570	13.84

Según estos resultados, puede asumirse que el escurrimiento normal es del orden de 9.50 hasta 13.84 m³/s, sin presencia de eventos extraordinarios.

Tabla No 14. Sección de la calzada frente al gimnasio

0.1m				0.1m	Tirante
	6.7 M				

7.4. Capacidad de los sistemas de drenaje

A continuación se describirán las capacidades de los sistemas de drenaje construidos en la zona de estudio, es decir aquellos ubicados en la microcuencas 3,4 y 6.

La capacidad será una comparación de los caudales que pueden fluir por las obras hidráulicas construidas, con relación a los máximos caudales estimados por los métodos de las huellas máximas y el método racional.

7.4.1. Cauce ramal frente a Los Pipitos

La primera obra hidráulica analizada fue el canal revestido frente a los Pipitos con capacidad de 10.19 m³/s, según la tabla No 15, el cual tiene una sección rectangular como se muestra en la tabla No 16. Este canal recibe la escorrentía 10 m³/s, que pasa por la alcantarilla frente a los Pipitos, la cual colecta la escorrentía de la microcuenca 3.

Al comparar la capacidad del canal y la alcantarilla se concluyó que:

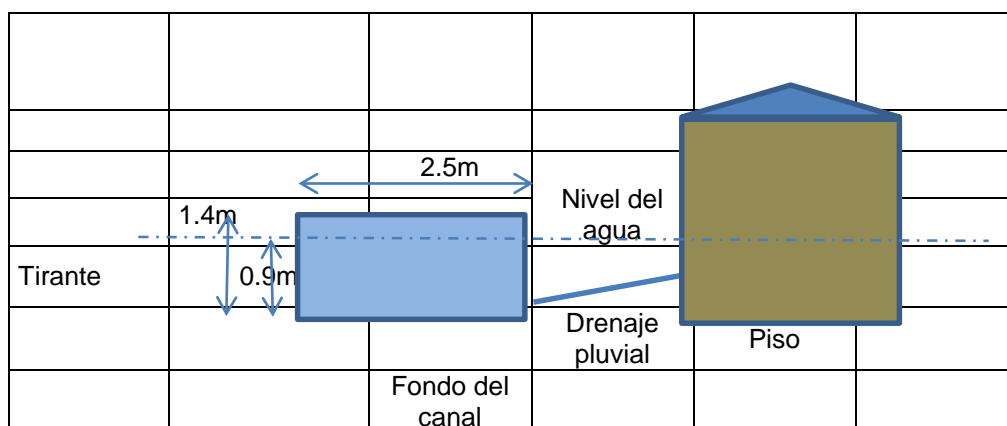
El canal, junto a la alcantarilla frente a Los Pipitos, no tiene la capacidad para evacuar el máximo caudal que es de 14.6 m³/s con un periodo de retorno de 10 años; siendo este último 4.6 m³/s superior a la capacidad del canal actual y la alcantarilla.

Tabla No 15. Capacidad del canal ramal frente a Los Pipitos

Área sección m ²	Perímetro mojado	Radio hidráulico	S m/m	n	V m/s	Q m ³ /s
2.250	5.300	0.425	0.026	0.020	4.529	10.190

Otro problema del mencionado canal, es que fue construido con su base a nivel de las viviendas colindantes, por lo que la altura del tirante hidráulico, está 0.90 metros sobre el nivel del piso de las viviendas (tabla No 16), lo que crea inundaciones en las viviendas a través del sistema de drenaje pluvial de la mismas.

Tabla No 16. Sección del canal y nivel respecto a las viviendas.



7.4.2. Cauce ramal frente al hospital

El estudio continuó con el análisis del ramal del cauce frente al hospital, el cual es un canal trapezoidal revestido con capacidad de 5.39 m³/s (tabla No 17). Este canal recibe el flujo de la alcantarilla del hospital, el cual es de 6 m³/s.

Al comparar la capacidad del canal y la alcantarilla se observa lo siguiente:

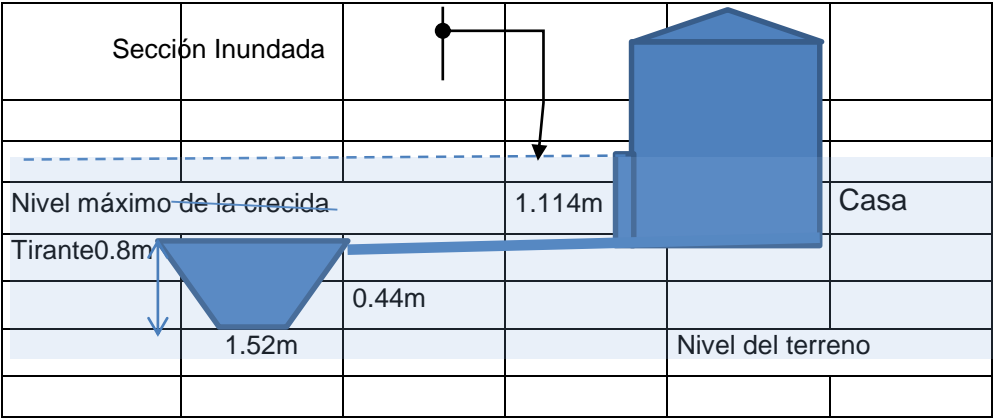
La capacidad del canal es inferior a la capacidad de la alcantarilla, y la capacidad de ambos es inferior al caudal máximo, que es de 10.2 m³/s, con retorno de 10 años, que la esorrentía generada por la microcuenca 4.

Tabla No 17. Capacidad del canal frente al hospital

Área sección m ²	Perímetro mojado	Radio hidráulico	S m/m	n	V m/s	Q m ³ /s
1.568	3.346	0.469	0.013	0.020	3.439	5.393

La menor capacidad del canal, con relación a la alcantarilla que colecta la esorrentía de la microcuenca 4, crea frecuentes inundaciones que alcanzan hasta 1.114 metros con relación al borde superior de la pared del canal, como se describe en la tabla No 18.

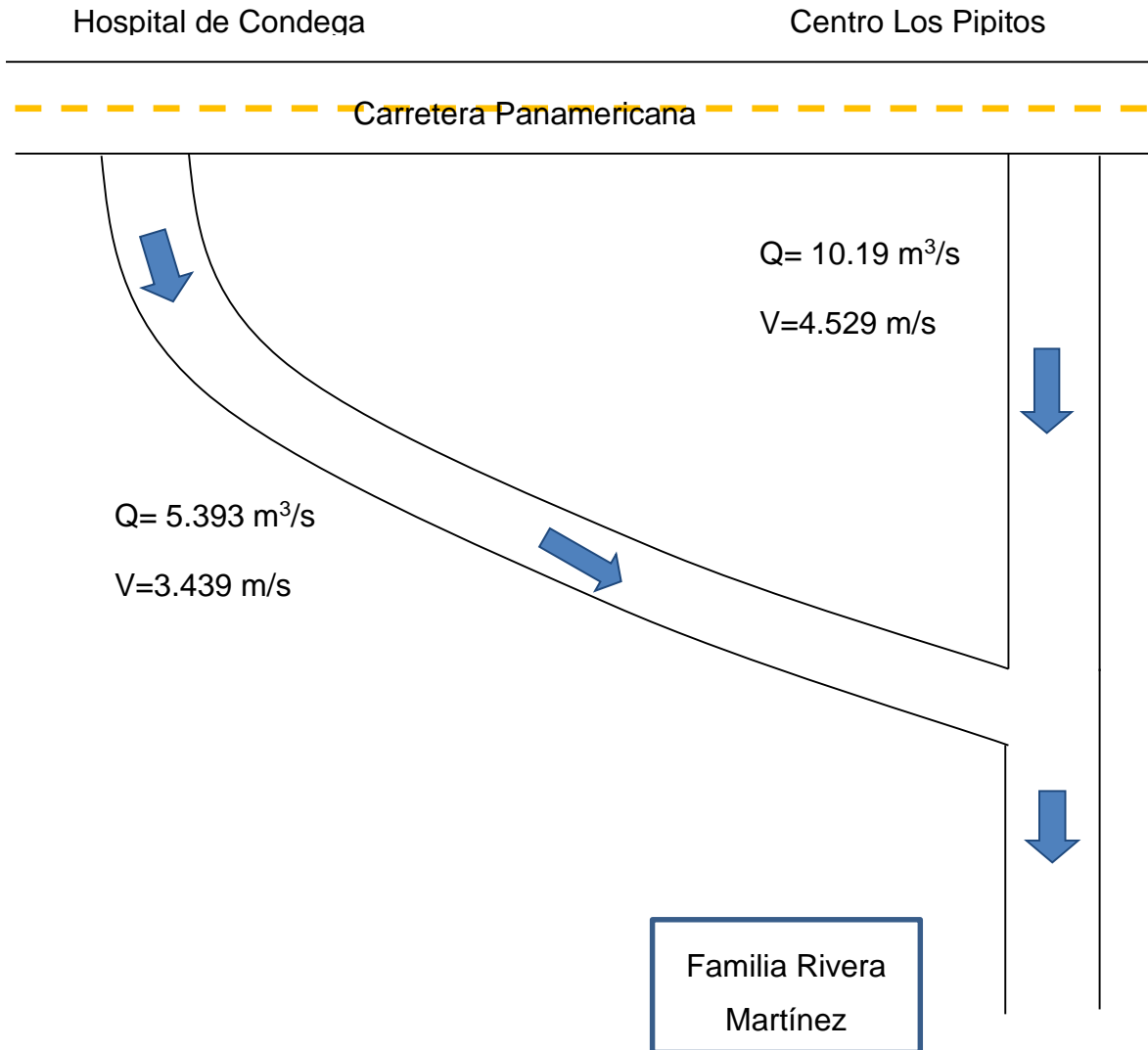
Tabla No 18. Sección del canal frente al hospital y nivel de la crecida



Por otra parte, la escorrentía que transporta el canal frente al hospital y la escorrentía que transita por el canal frente a Los Pipitos, confluyen en el cauce principal en sitio del patio familia Martínez Rivera (mapa No 5, diagrama No 3).

En la mencionada confluencia, el canal frente al hospital aporta un flujo de 5.39 m³/s, mientras que el canal frente a los Pipitos transporta un flujo de 10.19 m³/s, según sus capacidades actuales; esta situación hace que en el pico de las crecidas este último impida el flujo libre del canal frente al hospital, lo que combinado a la poca capacidad del canal frente al hospital, hace que se cree una zona de inundación como se muestra en el perfil de la Tabla No 18, afectando a las viviendas de los alrededores de forma periódica, aun con lluvias normales u ordinarias.

Diagrama No 1. Confluencia de canal frente al Hospital y centro Los Pipitos.



7.4.3. Cauce principal

Como se mencionó anteriormente, el cauce principal drena los afluentes de las microcuencas 3 y 4, a través de un sistema de alcantarillas y canales (diagrama No 3), llevando entre $16 \text{ m}^3/\text{s}$ a $24.8 \text{ m}^3/\text{s}$ según el método de huellas máximas y el método racional respectivamente.

La capacidad del cauce principal es de $29.584 \text{ m}^3/\text{s}$, como se aprecia en tabla No 19, y de forma trapezoidal como se ilustra en la tabla No 20. Al comparar la

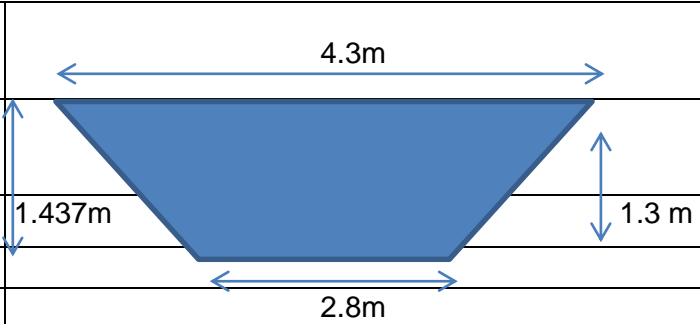
capacidad del canal con relación al caudal máximo apartado que es de 24.8 m³/s con retorno de 10 años, se encontró lo siguiente:

El cauce principal o canal principal, tiene la capacidad suficiente para evacuar el caudal máximo de 24.8 m³/s, con retorno de 10 años.

Tabla No 19. Capacidad del canal del cauce principal

Área sección m ²	Perímetro mojado	Radio hidráulico	S m/m	n	V m/s	Q m ³ /s
5.590	5.674	0.985	0.026	0.030	5.292	29.584

Tabla No 20. Sección del canal de cauce principal

			
1.6m			Tirante
1.437m		1.3 m	
	2.8m		

7.4.4. Canal de desagüe Barrio Alcides Meza

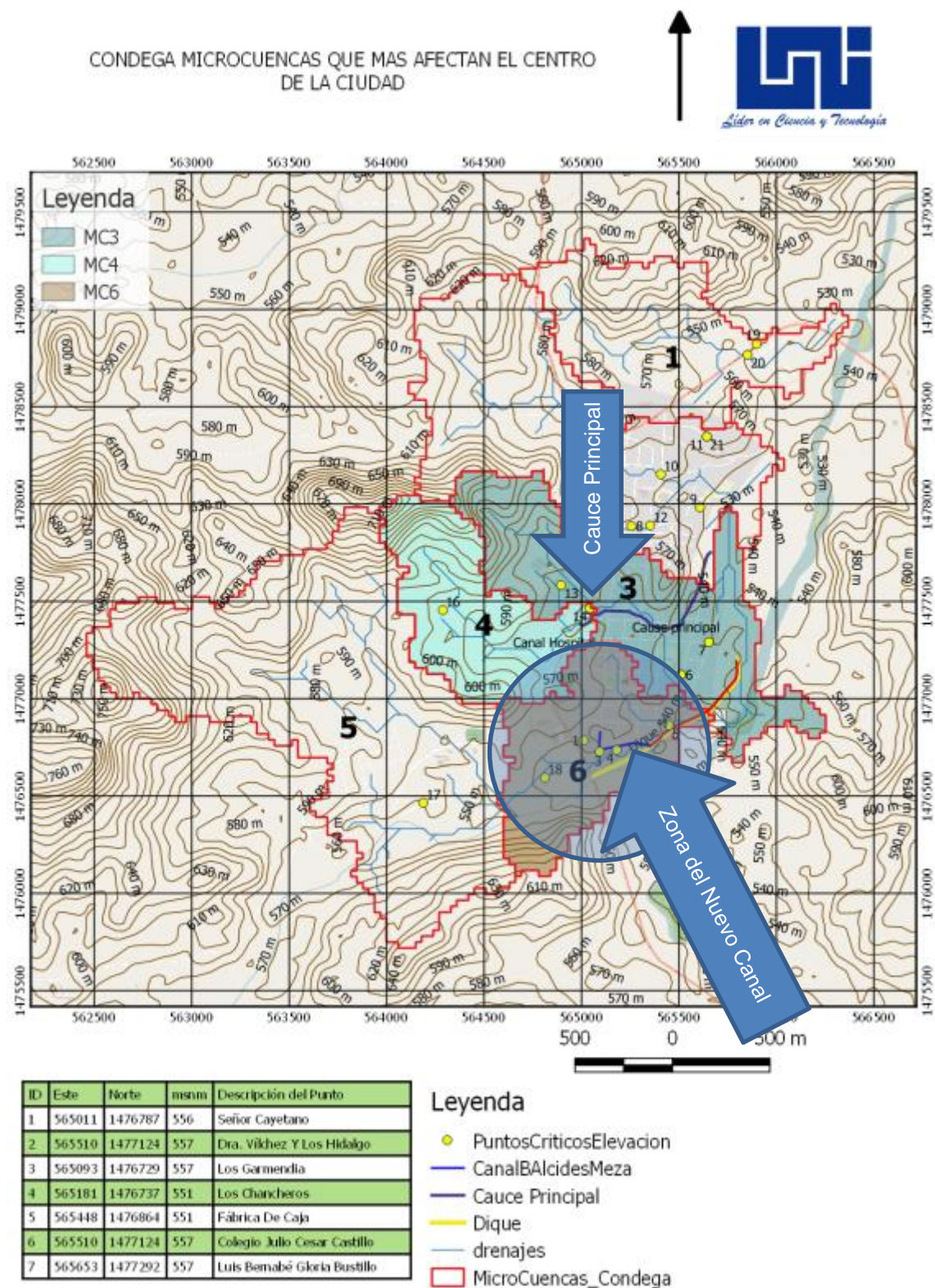
En el barrio Alcides Meza, existe un canal de adoquín que se usa para drenar la escorrentía generada en 1.57 ha, aproximadamente 2 cuadras, que solamente es una pequeña parte de las 70.6 ha de superficie que tiene la microcuenca 6. El canal antes mencionado cumple su función según la entrevista con el Sr. Laureano R. Hernández G. La capacidad del canal es de 0.376 m³/s, como se presenta en la tabla No 11.

Aunque como se indicó anteriormente este canal cumple sus funciones, cuando se analiza sus capacidades con relación al microcuenca se observa que:

La capacidad del canal en el Ba. Alcides Meza es adecuado para el área de captación para el cual fue diseñado.

No obstante en la microcuenca 6, donde se ubica el canal antes mencionado, no cuenta con otra obra hidráulica para evacuar la esorrentía; por tanto las cunetas y calles cumplen con esta función, estimando que por ellas escurren $13.84 \text{ m}^3/\text{s}$ con retorno de 10 años. Toda la esorrentía es represada por el dique construido en la zona baja, el cual atraviesa el punto cierre de la microcuenca como se observa en el mapa No 5. Para drenar el agua represada se recomienda construir un nuevo canal, que será el drenaje principal de las aguas de esta microcuenca 6.

Mapa No 5. Microcuencas que más afectan la ciudad de Condega



7.5. Propuesta

Basado en los resultados del análisis de los parámetros morfométricos, de los valores de las escorrentías, del sistema de drenaje y sus implicaciones en la ciudad, así como el efecto en la población y las necesidades de mitigar las inundaciones, se propone el siguiente plan de acción.

Objetivo General.

Promover acciones en el corto, mediano y largo plazo, para mejorar factores físicos y biológicos que incidan directamente en el balance hídrico de las seis microcuencas, aumentando la retención de la precipitación y reduciendo la escorrentía directa, con el protagonismo de las familias e instituciones, locales y nacionales.

Objetivos específicos.

1. Realizar acciones para incidir en la reducción de las escorrentías de la microcuenca 3,4 y 6, las cuales afectan permanente mente a los 3 barrios priorizados en el estudio (mapa No 5, círculo azul), favoreciendo los procesos de intercepción, almacenamiento superficial e infiltración del balance hídrico, para que se reduzca gradualmente la escorrentía directa.
2. Diseñar e implementar obras de drenaje para la mitigación directa de las inundaciones en la zona baja de la ciudad, que afecta directamente los barrios Alcides Meza, Mildred Centeno y Triunfo de la Revolución en 7 puntos críticos, favoreciendo para ello, el encausamiento de la escorrentía de 13.84 m³/s generada por la microcuenca seis.
3. Desarrollar un programa de educación ambiental que sirva de base para tanto para la educación en temas ambientales en el entorno urbano y para promover la organización y participación de las familias protagonistas y las instituciones públicas y privadas bajo el liderazgo de la municipalidad.

Estrategia

Como enfoque general y transversal se tomarán los principios de los “Sistemas de Drenaje Urbanos Sostenibles”, considerando como instrumento para el diseño, implementación y seguimiento del plan, el balance hídrico y sus componentes así como el ciclo hidrológico.

La estrategia de implementación buscará la gradualidad, para lo cual se priorizarán las acciones a seguir, comenzado por la mitigación de las zonas más afectadas de la microcuenca seis y teniendo como tema trasversal la educación ambiental, la organización de la familias protagonistas, el enfoque de cuencas y el enfoque de género.

Considerando dicha estrategia, se debe iniciar a lo inmediato con el manejo de suelos y reforestación de la zonas altas de las microcuencas 3 y 4, así como la mitigación (drenajes) de las zonas de la microcuenca 6, que se inundan y afecta a los barrios Alcides Meza, Mildred Centeno y Triunfo de la Revolución; se deben incluir acciones transversal de educación ambiental y organización en cada microcuenca.

En un segundo momento, el plan deberá prever acciones para mejorar el drenaje del cauce principal, favoreciendo el flujo de la escorrentía de las microcuencas 3 y 4, estas acciones serán de vital importancia especialmente cuando ocurran eventos pluviales extraordinarios como huracanes o tormentas tropicales.

La mencionada intervención deberá considerar un enfoque de manejo de aguas agua pluvias con sistemas drenaje urbano sostenible (SDUS), por lo que se establecen los siguientes ejes de acción.

7.5.1. Prevención

Como eje en un enfoque de sistema de drenaje urbano sostenible (SDUS), se debe diseñar un plan de “Educación ambiental” con énfasis en el ciclo del agua y el drenaje en las agua pluviales en un contexto urbano. Dicho plan se implementará con la población que vive en las 6 microcuencas. La educación ambiental debe promover acciones para la limpieza de las calles y causes, así

como lugares públicos. El Plan liderado por la Alcaldía Municipal, debe incorporar a todos los actores institucionales y familias protagonistas presentes en la ciudad, especialmente, MARENA, MINSA y MINED.

7.5.2. Manejo de suelos y agua.

Este eje estratégico está orientado a las acciones en las partes altas de las seis microcuencas, pero priorizando las microcuencas 3, 4 y 6 (mapa No 5), que afectan directamente la zona de estudio. Se propone realizar en una superficie de 92.2 ha de las microcuencas No 3 y 4 (mapa No 6), acciones de reforestación, zanjas de infiltración, control de torrentes, lagunas o reservorios; así mismo en la microcuenca 6, se propone realizar cosecha de agua en todas las viviendas y los edificios públicos.

Las acciones antes descritas, desde el punto de vista hidrológico, tienen la finalidad de promover los procesos de infiltración y reducir el pico de las crecidas máximas.

Las acciones del plan a implementarse, requieren especialmente el uso de mano de obra intensiva, por lo que con los fondos municipales y las maquinarias que disponen, la participación de las familias protagonistas y las instituciones, será posible implementar el plan en un corto plazo.

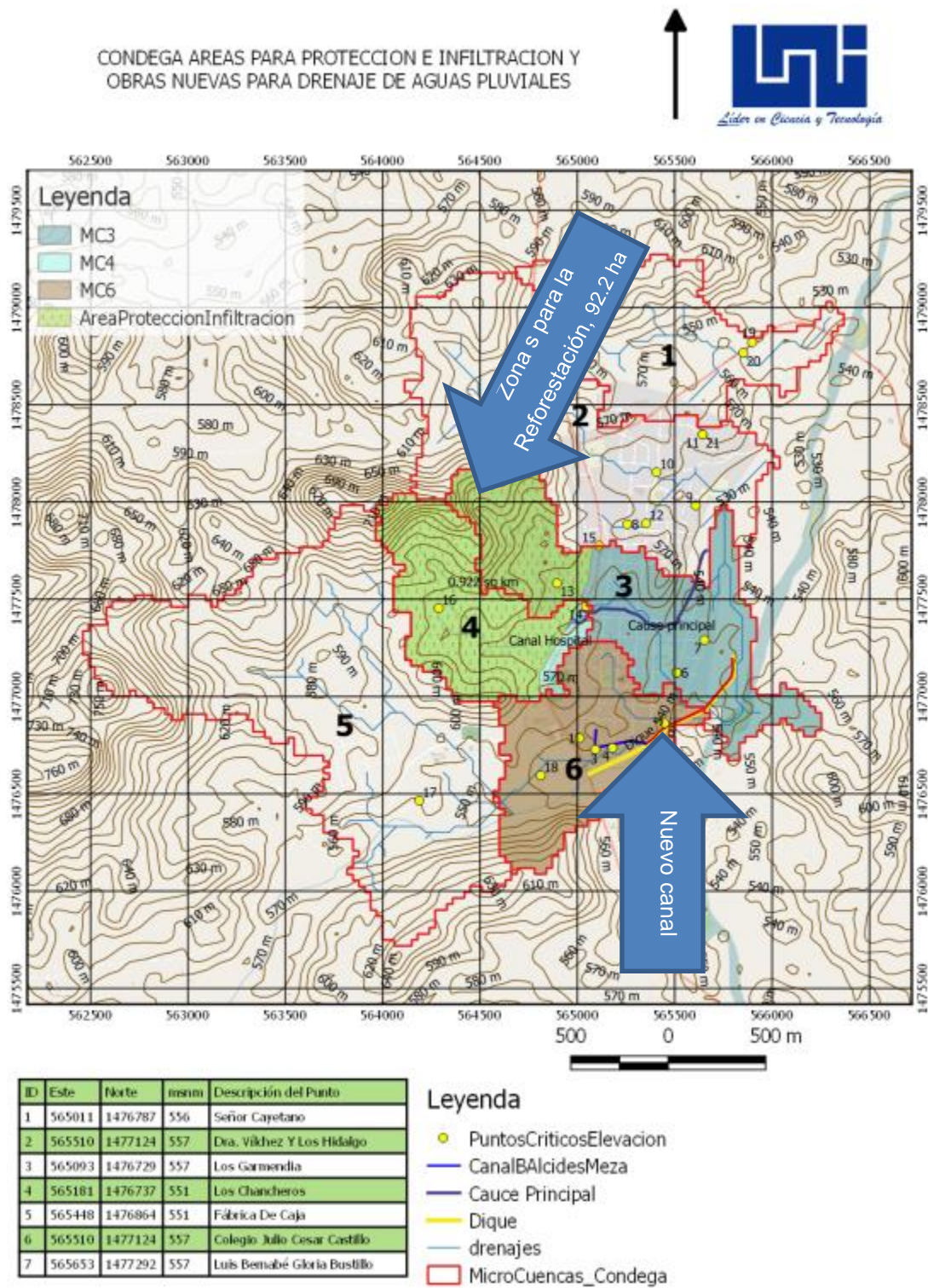
El resultado de la implementación de las acciones antes mencionadas, mejorará el caudal de los drenajes naturales en la época de estiaje, y consecuentemente habrá más agua para consumo humano y para el ganado, e inclusive algunas lagunas pueden ser potabilizadas para el uso doméstico, por lo que se recomienda promover una alianza con ENACAL.

Así mismo, desde el punto de vista del escurrimiento, los picos de crecidas serán menores y por tanto las alcantarillas del hospital y centro Los Pipitos, así como los canales y cauce principal funcionarán con un menor caudal, reduciendo de esta manera el riesgo de inundaciones del punto crítico No 14 y los puntos críticos

No1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 (Mapa No 1), en la zona baja de los barrios Alcides Meza, Mildred Centeno y Triunfo de la Revolución (mapa No 1 y 4).

Pueden colaborar en el diseño final de esta propuesta (Plan), estudiantes de ciencias ambientales e ingeniería civil, con la asesoría de los docentes y especialistas de las universidades presentes en la ciudad de Estelí (UNI RUACS y UNAN FAREM).

Mapa No 6. Ubicación de las acciones de un plan para la ciudad de Condega



7.5.3. Drenajes microcuenca 6

Dado que la microcuenca 6 carece de estructuras de drenajes convencionales, con la excepción del pequeño canal en el barrio Alcides Meza, construido de adoquines en su primer tramo de 95.61 metros, seguido de 282.30 metros sin revestimiento, se propone realizar una mejora de este sistema de drenaje (mapa No 6), conectándolo a un nuevo sistema con capacidad de $13.84 \text{ m}^3/\text{s}$, que se muestra en mapa No 6, con el nombre de “nuevo canal”, el cual evacuará las aguas de las escorrentías de toda la microcuenca 6.

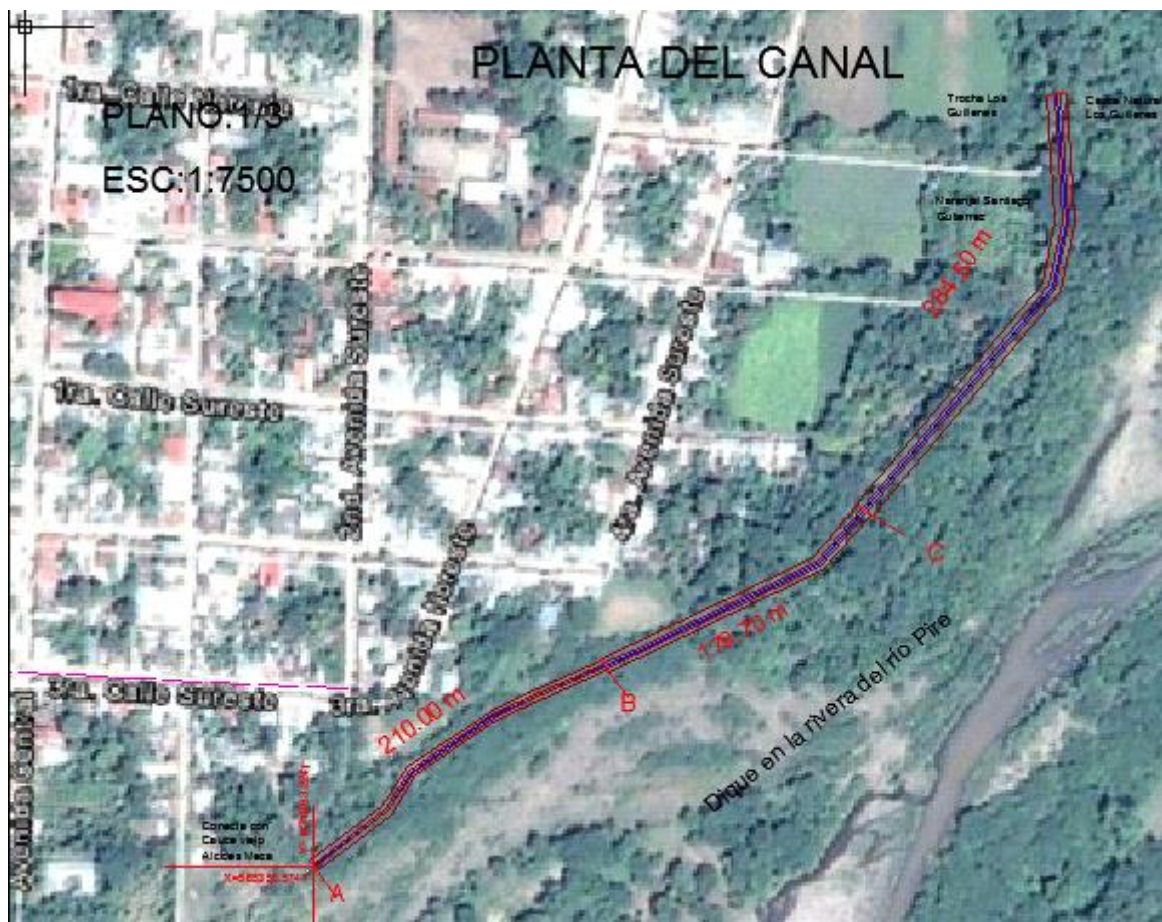
Esta acción evitará la inundación frecuente de la zona baja (Mapa No 4, zona celeste), mitigando de esta manera el impacto de las inundaciones en los barrios Alcides Meza, Mildred Centeno y Triunfo de la Revolución.

Este canal, será revestido con piedra bolón y tendrá una longitud de 674.2 metros (mapa No 6), el cual recibirá la escorrentía de los barrio Alcides Meza, Mildred Centeno y Triunfo de la revolución a través de 11 alcantarillas, paralelas a las cunetas. Dichas alcantarillas tendrán la capacidad de drenar $0.76 \text{ m}^3/\text{s}$. También el nuevo canal, recibirá el escurrimiento del pequeño canal de adoquín que tienen una capacidad de $0.38 \text{ m}^3/\text{s}$.

Diseño de un nuevo canal

El nuevo canal para el drenaje de la zona baja de ciudad, cuya ubicación general se muestra en el mapa No 6, tendrá 3 tramos como se indica en el plano No1. Los tramos fueron diseñados según las necesidades de drenaje, dándole al primero con una capacidad de $4.75 \text{ m}^3/\text{s}$ y una longitud de 210 metros (tabla No 20 y 21 y plano No 1).

Plano No 1. Vista de Planta del Canal de drenaje



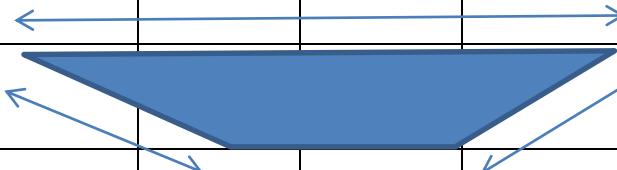
La capacidad del tramo antes indicado es de $1/3$ de la máxima esorrentía de la microcuenca 6, la cual es de $13.84 \text{ m}^3/\text{s}$, con retorno de 10 años y servirá para evacuar las aguas del barrio Alcides Meza, mapa No 6. La sección para la construcción del primer tramo se presenta en la tabla No 21 y 22.

Tabla No 21. Resultados del diseño del tramo 1, A-B planta del canal

Descripción	Variables	Unidades	Resultados
Caudal Max	Q	m ³ /s	4.750
Velocidad	V	m/s	1.070
Base del canal	B	M	2.000
Talud inferior	Z _{inf}	M	2.500
Talud superior	Z _{sup}	M	2.000
Tierra (construido con draga)	N	adimensional	0.035
Área sección	Ac	m ²	4.439
Tirante	D	M	1.029
Superficie libre del Agua	LSLA	M	6.630
Talud Longitud inferior	L _{inf}	M	2.770
Talud Longitud superior	L _{sup}	M	2.301
Radio hidráulico	R	M	0.628
Pendiente	S	m/m	0.003

Tabla No 22. Sección del tramo 1, A-B en el plano del nuevo canal

		6.63 m		
				tirante
				1.03m
2.5:1		2m	2:1	
	L=	210 m		
	S=	0.003 m/m		



El segundo tramo tendrá una longitud de 179.70 metros como se muestra en el plano No 1, con una capacidad para drenar $9.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (tabla No 23), el cual es $2/3$ de la escorrentía de la microcuenca 6, que es de $13.84 \text{ m}^3/\text{s}$. La sección del presente tramo de canal se presenta en la tabla No 24, que servirá de guía para la construcción del mismo.

Tabla No 23. Resultados del diseño del tramo 2, B-C plano canal

Descripción	Variables	Unidades	Resultados
Caudal Max	Q	m^3/s	9.500
Velocidad	V	m/s	1.070
Base del canal	B	m	3.000
Talud inferior	Z_{inf}	m	2.500
Talud superior	Z_{sup}	m	2.000
Tierra (construido con draga)	N	adimensional	0.035
Área sección	A_c	m^2	8.879
Tirante	D	m	1.429
Superficie libre del Agua	LSLA	m	9.429
talud Longitud inferior	L_{inf}	m	3.847
Talud Longitud superior	L_{sup}	m	3.195
Radio hidráulico	R	m	0.884
Pendiente	S	m/m	0.002

En este tramo se incorporarán las aguas de escorrentía proveniente del barrio Midred Centeno, que es uno de los barrios más afectados por las inundaciones.

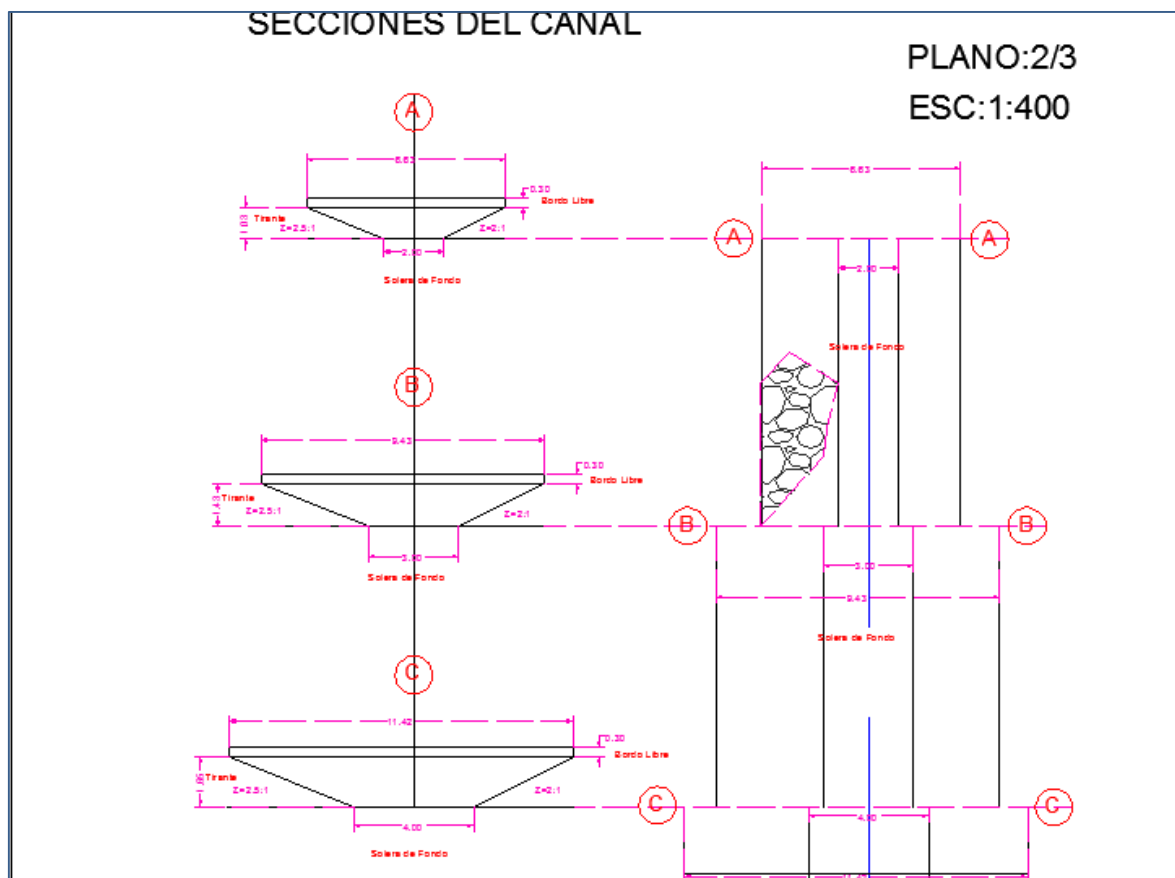
Tabla No 24. Sección del tramo 2, B-C en el plano del nuevo canal

				Tirante
		9.42 m		
				1.42
	2.5:1	3m	2:1	
		L=	179.7 m	
		S=	0.00167 m/m	

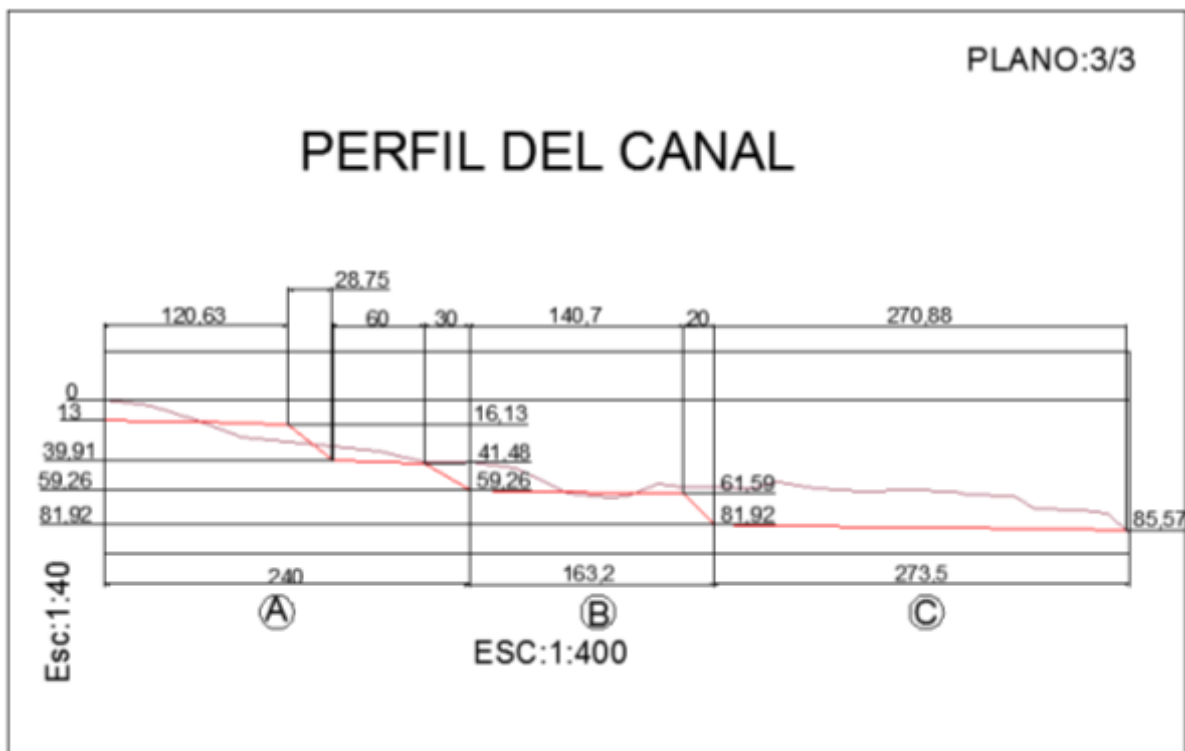
Finalmente se diseñó y un tercer tramo con 284.5 metros (plano No 1) y con capacidad igual al caudal de la microcuenca 6, como se indica en la tabla No 25; este tramo desemboca en un drenaje natural junto al río Estelí, (Mapa No 6). También en la tabla No 26 y plano No 2, se presenta la sección del tramo, el cual servirá para su construcción.

mismos servirán para la construcción del canal de drenaje de la zona baja de ciudad (Mapa No 4, 5 y 6).

Plano No 2. Dimensiones de las secciones del canal



Plano No 3. Perfil longitudinal del canal



7.5.4. Sistemas de cosecha de agua

Se propone realizar sistemas de cosecha de agua en 140 viviendas de los barrios Alcides Meza, Mildred Centeno y Triunfo de la revolución, todos ubicados en la microcuenca 6.

El sistema de cosecha de agua aprovechara el escurrimiento que se da en 25,124.38 m² techos de las 140 viviendas; y consistirá en canales recolectores y una cisterna de ferrocemento ubicada bajo tierra o sobre ella según sea el tamaño del área de los patios.

Dimensionamiento de las cisternas

Para calcular la dimensión de la cisterna se determinó la precipitación acumulada a partir de la intensidad de la lluvia en Condega, además se usó el tiempo concentración de la microcuenca 6 para estimar el volumen generado con la intensidad mencionada, encontrándose un volumen de 5.78 m³ (tabla No 27).

Tabla No 27: Estimado del volumen de almacenamiento por vivienda

Descripción de variables	UDM	Valores
Intensidad de la precipitación	mm/h	108.17
Tiempo de concentración en el punto de cierre MC 6.	min	17.86
Tiempo en desde el inicio de la tormenta hasta que la MC 6 se alcanza el Caudal Pico.	horas	0.30
Precipitación acumulada	mm	32.20
Área de las 105 viviendas encuestadas	m ²	25,124.39
Volumen almacenado en cisternas de todas las viviendas.	m ³	809.00
Volumen almacenado en cisternas por familias.	m ³	5.78
Nota: Cálculos basado en a la intensidad de la precipitación de Condega con 10 años de retorno y tiempo de concentración de la microcuenca 6.		

Por lo anterior se debe diseñar una cisterna con una capacidad de 5.78 m³, cuyas dimensiones para la construcción se presentan en la tabla No 28, tanto para cisternas de fondo rectangular con circular.

Tabla No 28: Dimensión de las cisterna para un vivienda según el tipo

Tanque cisterna de fondo rectangular		Tanque cisterna de fondo circular	
Parámetros	Valores	Parámetros	Valores
H = Altura del Tanque	1.5	H= Altura de la Cisterna	1.5
Área tanque fondo rectangular	3.852385198	Área cisterna	3.8523852
Longitud lado 1	2	Diámetro	2.21472294
Longitud lado 2	1.926192599		
Capacidad del tanque	5.778577797	Capacidad de la cisterna	5.7785778

Tabla No.32: Presupuesto de Obras Propuestas

Ítem	Descripción	Cant.	U/M	Costo Unit	Costo Total
010	Preliminares				
01	Limpieza Inicial	7010.06	m ²	C\$ 18.00	C\$ 126,181.10
02	Trazo y Nivelación c/Topografía	7010.06	m ²	C\$ 10.00	C\$ 70,100.61
020	Movimiento de Tierras				
01	Excavación con Máquina	10864.03	m ³	C\$ 150.00	C\$ 1629,604.33
02	Botar Material de Excavación a 5kms	14123.24	m ³	C\$ 60.00	C\$ 847,394.25
03	Conformación y Nivelación Manual	5400.68	m ²	C\$ 15.00	C\$ 81,010.20
030	Construcción de Cauce				
01	Tendido Cama de Arena	540.07	m ³	C\$ 470.00	C\$ 253,831.96
02	Colocación de Bolón	1620.20	m ³	C\$ 880.00	C\$ 1425,779.52
03	Enmallado de Cauce	5400.68	m ²	C\$ 400.00	C\$ 2160,272.00
040	Obras de Prevencion y mitigacion				
01	Reforestacion	500.00	c/u	C\$30	C\$ 15,000.00
02	Manejo de suelos	92.00	hec	C\$4,500	C\$ 414,000.00
03	Educacion ambiental	30.00	c/u	C\$ 150.00	C\$ 4,500.00
050	Limpieza Final				
01	Limpieza Final	7010.06	m ²	C\$ 18.00	C\$ 126,181.10
Costo Total					C\$ 7153,855.07

7.6. Impacto esperado del proyecto

Para medir el impacto esperado del proyecto debe analizarse el comportamiento del Balance hídrico, en dicho balance se busca aumentar la retención para que se reduzca la escorrentía directa.

7.6.1. Efecto en el balance hídrico las acciones en las partes altas de las microcuencas.

La situación hídrica actual de las seis microcuencas y especialmente 3,4 y 6 que inciden en el centro de la ciudad, se describe como áreas de escurrimientos, con poca infiltración cuyo indicador es la ausencia de corrientes o flujos de agua en los sistemas de drenaje en la época de estiaje, presencia de áreas urbanas que ha impermeabilizado los suelos, disposición de una zona para la extracción de materiales en la microcuenca 3, ausencia de estanques, presas o lagunas que sirvan al almacenamiento superficial, ausencia de bosques y una tasa de evapotranspiración de unos 6 mm por día que no incide significativamente en la retención.

En tanto, las variables relacionadas con la retención expresada como el coeficiente de escurrimiento, oscilan entre 0.51 y 0.66 (tabla No 29), siendo que, cuando dicho valor aumenta, la retención suele disminuir. En una situación sin proyecto este valor aumentará en la medida que la ciudad crezca, reduciendo la retención y aumentando la escorrentía directa en todas la microcuencas.

Tabla No 29. Situación actual de la escorrentía condición sin proyecto.

Microcuencas	Retención	Lluvia neta
	Coeficiente de escurrimiento que considera los factores: Infiltración, Almacenamiento superficial, Evaporación, Infiltración	Escorrentía directa 25 años retorno
	C	E(mm)
MC1	0.5137	24.65
MC2	0.6555	31.42
MC3*	0.6610	28.97
MC4*	0.5378	18.36
MC5	0.6151	28.68
MC6*	0.6474	24.60
*Microcuencas donde se reforestará y construirán zanjas de infiltración y micropresas.		

Con proyecto se priorizaran las microcuencas 3,4 y 6 por ser ésta las que más afectan el drenaje de la ciudad, especialmente la microcuenca 6 cuyo escurrimiento causa la inundación de los 3 barrios estudiados. En la mencionadas microcuencas las acciones de reforestación, manejo de suelos con zanjas de infiltración, construcción de lagunas, micropresas y obras para el control de torrentes, reducirá la el coeficiente de escurrimiento y la escorrentía directa, como se muestra en la tabla No 30.

Además habrá un impacto directo en la mitigación de la escorrentía de la microcuenca 6 con la construcción del nuevo canal que evacuará el 100% del caudal máximo de la microcuenca.

Tabla No 30. Situación de la escorrentía condición con proyecto.

Microcuencas	Retención		Lluvia neta	
	Coeficiente de escurrimiento que considera los factores: Infiltración, Almacenamiento superficial, Evaporación, Infiltración		Escorrentía directa 25 años retorno	
	C		E(mm)	
	Sin proyecto	Con proyecto	Sin proyecto	Con proyecto
MC1		0.5137		24.65
MC2		0.6555		31.42
MC3*	0.6610	0.5898	28.97	25.85
MC4*	0.5378	0.4665	18.36	15.92
MC5		0.6151		28.68
MC6*	0.6474	0.5838	24.60	22.18
*Microcuencas donde se reforestará y construirán zanjas de infiltración y micropresas.				

7.6.2. Efectos de la cosecha de agua sobre la escorrentía

La cosecha de agua proveerá 5.78 m³ de agua adicional a cada vivienda, reduciendo la presión al sistema de ENACAL, además reducirá el caudal máximo de la microcuenca 6, en un estimado de 0.80 m³/s, (tabla No 31).

Tabla No 31: Escorrentía que se atribuye a la superficie de las viviendas

Métodos	mm/h	Área de la vivienda m ²	Q m ³ /s
Método Racional	108.1741	33,499.19	0.8117187
Volumen/t	108.1741	33,499.19	0.8052765
Nota: Coeficiente de escurrimiento, C= 0.83 para zonas urbanas, Natural Resources Conservation Services (NRCS)			
Área de la vivienda estimada a 140 a partir de promedio encontrado en la encuesta.			

La cosecha de agua en los barrios de la ciudad incide en la retención en forma de almacenamiento superficial, por lo que desde el punto de vista del balance hídrico contribuirá a la reducción de la escorrentía directa como indicó anteriormente. Esta

nueva disponibilidad de agua podrá ayudar a la limpieza del hogar, riego de parios y jardines, el uso en la agricultura y la pequeña industria.

Un programa de cosecha de agua más ambicioso y la construcción de lagunas en la parte alta de la cuenca en el largo plazo podrían reducir significativamente la esorrentía con coeficientes de escurrimiento menores a 0.5, lo que debe ser la meta final.

VIII. CONCLUSIONES

1. Se encontró que la ciudad de Condega está ubicada dentro de los límites de 6 microcuencas, cuya superficie total es de 6.023 km². De ellas 3 microcuencas, la 3, 4 y 6, según los mapas presentados en este estudio, inciden directamente en el escurrimiento del centro y zonas bajas de la ciudad, aportando respectivamente: 17.29, 11.41 y 13.64 m³/s, con períodos de retorno de 10 años.
2. Las crecidas máximas que ocurren en las 6 microcuencas se dan en tiempos breves, a causa de:
 - a. Tiempos de concentración pequeños con valores que oscilan entre 14.89 y 28.21 minutos, lo cuales son función las pendientes de las microcuencas, las cuales están en rangos entre 11.87% y 4.68%.
 - b. Los coeficientes de compacidad presentan valores altos, mayores de 1.8, lo que establece que las 6 microcuencas tienen forma rectangular oblongada, lo que favorece la escorrentía.
 - c. La microcuencas que inciden en el centro la ciudad, están impermeabilizadas en su superficie por la construcción de viviendas, calles adoquinadas y otras infraestructuras públicas y privadas. Esto hace que los parámetros de retención de la precipitación en el balance hídricos, se limite a la evaporación, dado que la infiltración es escasa y la acumulación casi nula. Por tanto, la precipitación efectiva o escorrentía directa es alta.
3. El método de huellas máximas estimado a través la sección y la pendiente, para el cálculo de los caudales máximos, dio resultados inferiores en un 40% hasta 50%, menores a los calculados por método racional con 10 años de retorno. Lo anterior puede deberse a que las huellas utilizadas corresponden a inviernos recientes que no han sido extremos o sea sin la influencia eventos extremos como huracanes o tormentas tropicales.
4. A la luz de los caudales máximos en las microcuencas 3,4 y 6, puede decirse que las obras hidráulicas, carecen de la capacidad para evacuar

dichos caudales en eventos con 10 años de retorno. Solamente el cauce principal tiene la capacidad suficiente.

5. Los problemas de diseño aguas arribas del cauce principal, crearon el punto crítico No 14, que afecta a 3 viviendas.
6. En la zona de la ciudad donde incide la microcuenca 6, no hay obras hidráulicas para el drenaje de las escorrentías, salvo un pequeño canal que da servicio a 2 manzanas. Contrariamente el drenaje se redujo en la parte baja en los barrios Alcides Meza, Mildred Centeno y Triunfo de la Revolución, por la construcción de un dique de gaviones de 3 metros de alto y 896 metros de longitud, obra que represa las aguas en el punto de cierre de la microcuenca. La situación anterior dio paso a los puntos críticos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

IX. RECOMENDACIONES

1. Priorizar las acciones de mitigación en las zonas bajas, en los barrios Alcides Meza, Mildred Centeno y Triunfo de la Revolución, ya que en ellos existen 7 puntos críticos que afecta por inundación a 140 viviendas, con las respectivas las familias que las habitan.
2. Se recomienda realizar un sistema de drenaje con un nuevo canal en la parte baja y cierre de la microcuenca 6, con capacidad para evacuar 13.86 m³/s, lo que mitigará los inundaciones en 7 puntos críticos de los barrios Alcides Mesa, Mildred Centeno y Triunfo de la Revolución.
3. Debido a las características morfológicas e hidrológicas de las microcuencas, se recomienda impulsar acciones de conservación de suelos y obras de captación para favorecer la infiltración en 92.2ha, para aumentar el factor de retención del balance hídrico, y a su vez reducir la precipitación neta o esorrentía directa, para reducir los caudales máximos.
4. Para mitigar el punto crítico 7, se recomienda redimensionar los canales frente al hospital y Los Pipitos, tomado en cuenta los caudales máximos encontrados en el estudio, además construir un colector en el punto de la familia Rivera Martínez, para encausar las aguas de los canales mencionados al cauce principal.
5. Retomar las recomendaciones aquí presentadas, a fin de formular un plan para el mejoramiento del drenaje de la ciudad, tomado en cuenta el enfoque de sistemas de drenaje urbano sostenible.

X. BIBLIOGRAFIA

- Aparicio, F J (1992). Fundamentos de hidrología de superficie. México, D.F. *Editorial Limusa S.A. de C.V.* 1, 19.
- Franquet Bernis, J.M. (2005). Agua que no has de beber... 60 respuestas al Plan Hidrológico Nacional. *Extraído el 18 de septiembre de 2016 desde www.eumed.net/libros/2005/jmfb-h/*
- Linsley y Kohler, (1984). Hidrología para Ingenieros. México, D.F. *Fuentes Impresores, S.A.*
- Molina M.P y otros (2011). Sistemas urbanos de drenaje sostenible suds para el plan de ordenamiento zonal norte pozn. *Secretaria distrital de ambiente, Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.*
- PAST – DANIDA, (2004) Guía Hidráulica para el diseño de estructuras de drenaje en caminos rurales. *Nicaragua, octubre 2004. Pág. 22 3.3.4*
- Rodríguez Bayon, J y Otros (2016). Sistemas urbanos de drenaje sostenible. SUDS. GITECO (Grupo de Investigación de Tecnología de la Construcción) Escuela de Caminos, Canales y Puertos de Santander. Universidad de Cantabria.
- SARH, (1986) Manual de conservación de suelos y agua. *Segunda edición. Colegio de Postgraduados Chapingo, México. Pág. 40-46.*
- UNI – RUACS, (2016). *Diagnóstico drenaje Urbano en la Ciudad de Condega – 2016. Estelí, Nicaragua.*
- Universidad Tecnológica de Pereira, (2010). *Hidrología básica. Pereira, Risaralda, Colombia.*

ANEXOS

ANEXO NO 1: FORMATO DE CENSO

CENSO

1. Nombre del jefe o jefa de familia.			
2. No: Cédula.			
3. No personas de habitan en la vivienda			
4. Área de la vivienda (m ²)			
5. Área de patio (m ²)			
6. Área verde de la vivienda (m ²)			
7. Ha sufrido inundación y que fecha fue la última.	S	N	Fecha
8. Tiene sistema de cosecha agua (S/N).	S		N
9. Tiene agua potable (S/N).	S		N
10. En el caso que tenga agua potable cuantas horas recibe por día.			
11. Cuánta agua consume al día (Litros)			
12. Que uso del agua:	Marque con una X		
• Consumo humano			
• Riego			
• Consumos industrial			
• Restaurantes o hoteles			
• Otros (explique)			

ANEXO NO 2. COEFICIENTES DE RUGOSIDAD (N)

Coeficiente de Manning

Cunetas y canales sin revestir	
En tierra ordinaria, superficie uniforme y lisa	0,020-0,025
En tierra ordinaria, superficie irregular	0,025-0,035
En tierra con ligera vegetación	0,035-0,045
En tierra con vegetación espesa	0,040-0,050
En tierra excavada mecánicamente	0,028-0,033
En roca, superficie uniforme y lisa	0,030-0,035
En roca, superficie con aristas e irregularidades	0,035-0,045
Cunetas y Canales revestidos	
Hormigón	0,013-0,017
Hormigón revestido con gunita	0,016-0,022
Encachado	0,020-0,030
Paredes de hormigón, fondo de grava	0,017-0,020
Paredes encachadas, fondo de grava	0,023-0,033
Revestimiento bituminoso	0,013-0,016
Corrientes Naturales	
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficiente	0,027-0,033
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficiente, algo de vegetación	0,033-0,040
Limpias, meandros, embalses y remolinos de poca Importancia	0,035-0,050
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados	0,060-0,080
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados, vegetación densa	0,100-0,2001
Rugosas, corrientes en terreno rocoso de montaña	0,050-0,080
Áreas de inundación adyacentes al canal ordinario	0,030-0,2001

Tabla tomada de S.M. Woodward and C.J. Posey. Hydraulics of steady flow in open channels.

ANEXO NO 3. ESCARMIENTOS MÁXIMOS MÉTODO DE HUELLAS MÁXIMAS

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Sección	A	P	$r=A/P$	S	N	V	Q
	(m ²)	(m)	(m)	m/m	adim	m/seg	m ³ /seg
0+00							

ANEXO NO 4. TOMA DE DATOS CON CLINÓMETRO MODELO SUNNTO

Altura de del instrumento (m): _____

	Datos de Campo			Calculo en gabinete			Datos de campo tomados con cinta	
Estación	Angulo grados	Pendiente %	Longitud (m)	Elevación (m)	Elevación calzada (m)	P m/m :	Ancho de la vía (m)	Nivel Cuneta u otro (m)
0+000								
0+025								

$\text{Elevación} = \text{Pendiente}/100 \times \text{Longitud}$

$\text{Elevación calzada} = \text{Altura del Instrumento} - \text{Elevación}$

$P = \text{Elevación Calzada} / \text{Longitud}$

Nota: La altura del instrumento es la altura al nivel de los ojos del operador del instrumento.

ANEXO NO 5. ESTIMACIÓN CAUDAL MÁXIMO POR UNA ALCANTARILLA

Dimensiones de tubos de concreto	D	Carga	He	He/D	Q
	m	M	M		m ³ /s

D , el diámetro interno de la tubería.

Q , caudal, que debe ser igual o mayor al caudal de diseño (Q_d).

A , es el área llena de la tubería

K y M constantes, que dependen del tipo de alcantarilla y la forma de los aletones de entrada.

El caudal se estima con el nomograma siguiente.

Altura de la carga y capacidad para tubos de concreto con control de entrada (sistema métrico), adaptado de FHWA, HDS 5. 1988.

